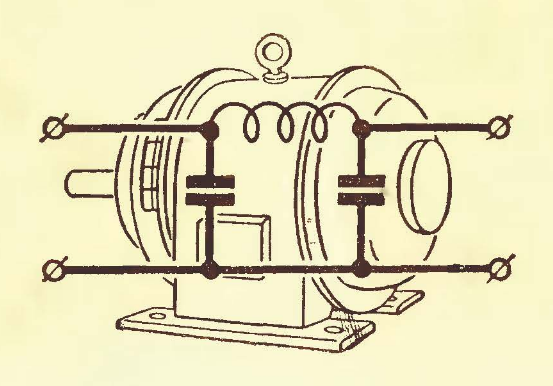
МАССОВАЯ РАДИО-БИБЛИОТЕКА

С. А. ЛЮТОВ

РАДИОПОМЕХИ ОТ ЭЛЕКТРОУСТРОЙСТВ И ИХ ПОДАВЛЕНИЕ





ГОСЭНЕРГОИЗДАТ

МАССОВАЯ РАДИО БИБЛИОТЕКА

ПОД ОБЩЕЙ РЕДАКЦИЕЙ АКАДЕМИКА А. И. БЕРГА

Выпуск 156

С. А. ЛЮТОВ

РАДИОПОМЕХИ ОТ ЭЛЕКТРОУСТРОЙСТВ И ИХ ПОДАВЛЕНИЕ

Ростов на Дону
декабрь 1952 г.



ГОСУДАРСТВЕННОЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО

МОСКВА 1952 ЛЕНИНГРАД

52337

В книге описываются виды индустриальных помех радиоприему и методы подавления их.

Рассчитана книга на подготовленного радиолюбителя.

СОДЕРЖАНИЕ

Редактор *А. А. Куликовский* Техн. редактор *С. Н. Бабочкин*

Сдано в набор 9/IV 1952 г. Подписано к печати 1/XI 1952 г.

Бумага $84 \times 108^{1}/_{32} = 1^{1}/_{4}$ бумажным—4,1 п. л. + вклейка. Уч.-изд. л. 4,75

Т-08757 Тираж 25 000 Заказ 3148

Цена 1 р. 90 к. (номинал по прейскуранту 1952 г.)

Типография Госэнергоиздата. Москва, Шлюзовая наб., 10

ВВЕДЕНИЕ

За годы Сталинских пятилеток гениальное изобретение великого русского ученого А. С. Попова — радио — достигло в СССР высокой степени развития и стало важным средством связи и вещания, играющим большую роль в политической, культурной и хозяйственной жизни нашей страны.

Известно, что радиосвязь и радиовещание подвержены действию помех, защита от которых порой вырастает в целую проблему.

Каждый радиолюбитель, естественно, должен знать хотя бы в общих чертах природу этих помех и уметь подавлять их с тем, чтобы обеспечить хороший прием радиовещательных станций и телевидения.

Самые интенсивные радиопомехи создаются различными электроустройствами, например: коллекторными двигателями и генераторами всех систем, телеграфными аппаратами, телефонной аппаратурой (звонками, номеронабирателями, токовращателями), реле, вибропреобразователями, системами зажигания двигателей внутреннего сгорания, электросварочной аппаратурой, медицинской аппаратурой, электротранспортом (трамваи, троллейбусы, электропоезда), лифтами и другими электроустройствами.

Достаточно сказать, что помехи от работающих систем зажигания автомашин сильно ухудшают как прием радиовещания, так и особенно телевидения в радиусе нескольких сот метров, не говоря уже о более сильных источниках.

За последние двадцать лет в СССР были успешно проведены исследования в области борьбы с помехами. Они показали, что подавлять радиопомехи необходимо прежде всего в месте их возникновения, т. е. у источника помех, поэтому наиболее эффективными методами подавления радиопомех являются экранирование и фильтрация источников помех.

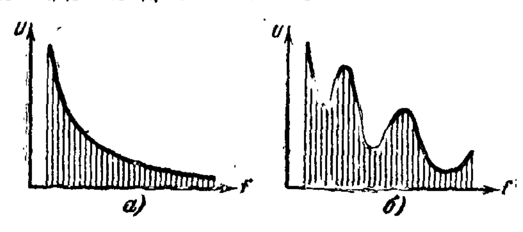
Нашей промышленностью сейчас выпускаются высококачественные приборы для измерения интенсивности радио-

помех и защитные конденсаторы. Разработаны и применяются электрические схемы подавления радиопомех для большинства их важнейших источников. Выпускается различная электроаппаратура с устройствами для подавления помех.

ПРИРОДА РАДИОПОМЕХ

При работе электроустройств радиопомехи возникают в результате резких изменений тока и напряжения в электрических цепях, зачастую сопровождающихся искрением, например, при разрывах контактов или при скольжении щеток электрических машин по коллектору.

В результате создается непрерывный спектр помех, охватывающий весь используемый для радиосвязи, радиовещания и телевидения диапазон частот.



Фиг. 1.
а—обратно пропорциональное убывание уровня радиопомех с повышением частоты; *б*—убывание уровня радиопомех с частотой при наличии частных резонансов в электрических цепях.

Таким образом, работающее электроустройство представляет собой как бы генератор, создающий колебания бесконечно большого количества частот. Образующиеся токи распространяются как по внутренней схеме этого устройства, так и по отходящим от него проводам. Они воздействуют на антенны и провода заземления приемных устройств через емкостную и индуктивную связь, а также путем непосредственного излучения, мешая приему полезных радиосигналов.

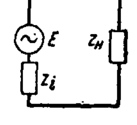
Обычно уровень поля радиопомех падает примерно обратно пропорционально частоте (фиг. 1,*а*), однако, на некоторых участках диапазона частот бывают подъемы, зачастую весьма значительные. Последние появляются в результате частных резонансов, возникающих в электрической цепи источника помех, так как всякая электрическая цепь обладает индуктивностью, емкостью и активным сопротивлением (фиг. 1,*б*).

По своему характеру радиопомехи делятся на гладкие и импульсные. Первые возникают, например, от работы коллекторной машины и создают в телефоне или громкоговорителе непрерывный шум, а импульсные — от работы телеграфного ключа или системы зажигания автомашины и прослушиваются как последовательные щелчки. Поскольку ухо человека не воспринимает импульсы короче 0,5—1 *мсек* и, кроме того, удерживает звуковое впечатление в течение 160—200 *мсек*, то естественно, что гладкие радиопомехи при прочих равных условиях слышны гораздо сильнее.

ЭКВИВАЛЕНТНАЯ СХЕМА ИСТОЧНИКА РАДИОПОМЕХ И ПУТИ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ПОМЕХ

Перейдем к рассмотрению эквивалентной схемы источника радиопомех и путей их распространения (фиг. 2). Здесь E — э. д. с. источника радиопомех, Z_i — его эквивалентное внутреннее сопротивление и $Z_н$ — сопротивление подключенной к его зажимам электрической сети, играющей роль нагрузки.

Практика показала, что такое представление об эквивалентной схеме источника радиопомех наиболее правильно, так как значения E, Z_i и $Z_н$ оказалось вполне возможным измерять специальной аппаратурой в достаточно широком диапазоне частот.



Фиг. 2. Эквивалентная схема источника радиопомех.

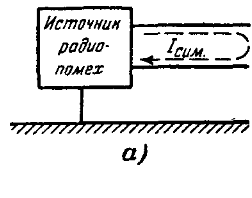
Таким образом, любой источник радиопомех мы можем рассматривать как обычный источник переменного тока.

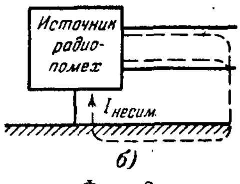
В связи с необходимостью получить наименьшее напряжение радиопомех на нагрузке $Z_н$ (фиг. 2) возникают требования, противоположные предъявляемым к источникам тока. Мы должны иметь по возможности большее внутреннее сопротивление источника помех Z_i и возможно меньшее сопротивление нагрузки $Z_н$ (обычно линии). Зачастую это требование выполняется само по себе, так как внутреннее сопротивление источника помех, например индуктивное сопротивление обмоток различных электроустройств, небольшое при частоте 50 периодов или при постоянном токе, становится весьма большим при высокой частоте.

Помехи, созданные источником, попадают непосредственно в отходящие от него, а через распределенную емкость — и в расположенные неподалеку провода и распространяются по ним на значительные расстояния. Напри-

мер, по воздушным линиям они нередко передаются на расстояния до нескольких десятков километров, мешая в этой зоне радиоприемным устройствам.

Следовательно, одна из основных задач подавления радиопомех заключается в противодействии их распространению по проводам. При наличии однопроводной линии мешающие токи проходят вдоль линии и возвращаются к источнику помех по земле, замыкаясь через нагрузку и распределенную емкость между проводом и землей; если же источник помех включен в двухпроводную линию, то имеются два пути распространения помех. Первый, симметричный, путь обусловлен тем, что ток радиопомех, уходя от источника по одному проводу, возвращается к нему по другому (фиг. 3,*а*).





Фиг. 3.
а — путь распространения симметричных радиопомех; *б* — путь распространения несимметричных радиопомех.

По второму, несимметричному, пути токи помех распространяются одновременно по обоим проводам и затем по земле (фиг. 3,*б*). Напряжение помех, действующее между проводами, при этом называется симметричным, а действующее между каждым из проводов и землей — несимметричным. Если же от источника помех отходит три или большее количество проводов, то всегда между каждой их парой будет существовать свое симметричное, а между каждым проводом и землей — несимметричное напряжение. И то и другое может быть измерено измерителем радиопомех как в любых точках линии, так и непосредственно у зажимов источника помех.

Воздействие проводов, в которых распространяются токи помех, на различные антенны на небольших расстояниях зависит в основном от наличия емкостной связи между ними. При этом на антенну воздействуют электрические поля, образующиеся между помехонесущими проводами и землей за счет распространения несимметричных токов радиопомех.

Следовательно, для устранения мешающего действия необходимо в первую очередь подавлять несимметричные радиопомехи. На практике это выполняется путем включения фильтров в провода, отходящие от источников помех, а также экранированием последних.

ПРОНИКНОВЕНИЕ РАДИОПОМЕХ В ПРИЕМНИК И ПРОСТЕЙШИЕ МЕТОДЫ БОРЬБЫ С НИМИ

В приемники, питаемые от батарей, радиопомехи проникают через емкостную связь проводов антенны и заземления с одним или несколькими помехонесущими проводами.

Таким образом, уязвимыми для помех местами в приемном устройстве являются горизонтальная и вертикальная части антенны и провод, идущий к земле.

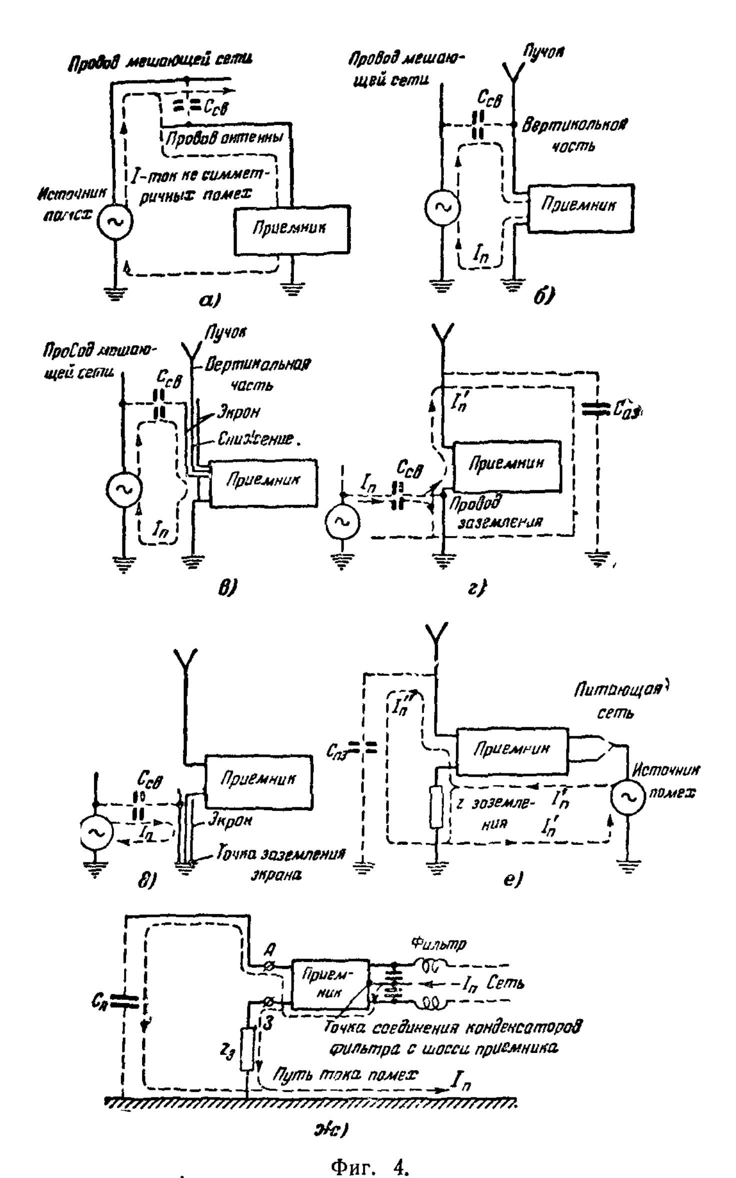
Схема с указанием пути проникновения тока помех из помехонесущей проводки через горизонтальную часть антенны в приемник приведена на фиг. 4,*а*. Из фигуры видно, что для уменьшения помех необходимо уменьшить емкость $C_{св}$ между проводами мешающей линии и горизонтальной частью антенны. Это достигается путем подвеса горизонтальной части антенны по возможности выше и перпендикулярно к помехонесущей проводке.

В городах, где часто бывает трудно выбрать место для расположения горизонтальной части антенны вдали от проводов, среди радиолюбителей нашла применение антенна без горизонтальной части, например типа «метелка». В этой антенне горизонтальную часть заменяет пучок проводов, что создает значительно меньшую емкость связи с помехонесущими проводами, тогда как емкость пучка относительно земли может быть сделана такой же, как и емкость относительно земли горизонтальной части какой-либо другой антенны.

Однако применение антенны типа «метелка» лишь частично уменьшит помехи, наводимые в проводе антенны, так как последние будут проникать в него через емкость между вертикальной частью антенны и помехонесущими проводами (фиг. 4,*б*). Но эти помехи обычно невелики, особенно в тех случаях, когда вертикальная часть антенны находится над крышей дома и емкость $C_{св}$ сильно уменьшается вследствие экранирующего действия крыши.

Вертикальная часть антенны является ее основной рабочей частью; для снижения наводимых в ней радиопомех мы располагаем пока единственным способом — по возможности удалить ее от помехонесущих проводов, подняв над крышей дома.

Весьма опасным местом возможного проникновения радиопомех является снижение антенны, так как оно, проходя поблизости от внутренней проводки дома и различных уличных проводок, находится в наиболее сильном поле радиопомех. Схема связи снижения с помехонесущей



Фиг. 4.

а—путь проникновения радиопомех из помехонесущей проводки через горизонтальную часть антенны в радиоприемник; *б*—путь проникновения радиопомех из помехонесущей проводки через емкости между вертикальной частью антенны и помехонесущими проводами, *в*—путь проникновения радиопомех из помехонесущей проводки через емкость между снижением и помехонесущими проводами; *г* путь проникновения радиопомех из помехонесущей проводки через емкость между проводом заземления и помехонесущими проводами, *д*—путь тока радиопомех при помещении провода заземления в экранирующую оболочку, *е*—путь проникновения несимметричных радиопомех из сети в радиоприемник, *ж*—подавление помех, поступающих из сети, посредством применения высокочастотного фильтра.

проводкой остается той же, что и в предыдущем случае, но емкость связи между мешающим проводом и проводом снижения будет гораздо больше.

Для уменьшения этих радиопомех обычно применяют экранирование снижения, либо помещая его в экранирующий чулок, либо используя для этой цели специальный экранированный провод (фиг. 4,*в*), при этом токи радиопомех будут протекать по экранирующей оболочке на шасси приемника по проводу заземления на землю. Однако применение такого экранированного снижения возможно лишь при специально рассчитанном входе приемника.

Неменьшую опасность, с точки зрения проникновения радиопомех в приемник, представляет также и провод заземления.

Вследствие наличия емкости между проводом заземления и помехонесущей проводкой ток несимметричных помех от источника, протекая по проводам, через емкость $C_{св}$ (фиг. 4,*г*) попадает в провод заземления, затем, вследствие наличия у этого провода сопротивления, ток частично протекает через приемник, по проводу антенны и через емкость антенны относительно земли возвращается к источнику радиопомех. С тем чтобы снизить эти помехи, нужно, по возможности, сократить длину провода заземления, уменьшив его сопротивление токам помех.

Дополнительным эффективным средством снижения этих радиопомех является экранирование провода заземления. Путь тока помех при помещении провода заземления в экранирующую оболочку показан на фиг. 4,*д*.

Использование в качестве провода заземления труб водопровода и парового отопления является нежелательным, так как они, разветвляясь по дому вблизи от проводок, несущих радиопомехи, подвержены воздействию последних.

Радиоприемники, питаемые от сети, находятся в еще худших условиях, так как кроме указанных путей проникновения помех в приемники, питаемые от батарей, здесь появляются добавочные помехи, поступающие из сети через провода питания приемника.

Схема с указанием пути проникновения несимметричных радиопомех из сети в приемник приведена на фиг. 4,*е*. Отсюда видно, что помехи будут тем меньше, чем меньше сопротивление всей системы заземления. Таким образом, и в данном случае необходимо стремиться сделать провод заземления как можно короче.

Путь протекания радиопомех по цепям приемника в цепь заземления весьма сложен. Один такой путь образуется, например, через емкость первичной обмотки трансформатора на его сердечник и, следовательно, на шасси приемника, а далее в цепь заземления Помехи могут также прочикать через емкость между обмотками силового трансформатора непосредственно в цепи приемника и далее различными путями в цепь заземления

Подавление радиопомех, поступающих из сети через провода питания, осуществляется посредством включения в эти провода высокочастотного сетевого фильтра Обычно применяют Г-образный индуктивно-емкостный фильтр Фильтр устанавливается непосредственно на шасси приемника и включается катушками в сторону сети (фиг. 4,*ж*) Эффективное действие такого фильтра может быть получено при условии, если ток радиопомех, отводимый им в землю, будет максимально уменьшен, и, следовательно, падение напряжения помех, создаваемое этим током на сопротивлении цепи заземления, будет также малым

Для снижения величины этого тока необходимо в фильтре применять катушки индуктивности, имеющие в защищаемом диапазоне частот сопротивление, значительно большее, чем сопротивление цепи заземления

Заземление приемника в данном случае является обязательным как по соображениям фильтрации радиопомех, так и по соображениям техники безопасности Это ограничивает также и величины емкостей фильтра, которые должны быть не более 0,05 *мкф*

Этот фильтр хорошо подавляет помехи, проникающие из сети в схему приемника через цепи питания Однако эти же помехи обычно достаточно эффективно подавляются фильтрами — развязками, которые имеются в цепях питания ламп приемника, так что включение особого фильтра в провода питания приемника может оказаться излишним

Основное мешающее действие определяется теми сетевыми помехами, которые проникают в цепь заземления и антенны приемного устройства и, следовательно, усиливаются всеми лампами приемника

Необходимо заметить, что применение сетевого фильтра обычно дает заметный результат лишь тогда, когда провод заземления короткий, что обеспечивает малое сопротивление цепи заземления и меньшую возможность наведения помех в этот провод из сети за счет емкостной и индуктивной связи.

Кроме описанных выше антенных устройств, снижающих радиопомехи, следует указать на использование так называемых антишумовых антенн и антенн направленного действия. Действие антишумовых антенн основано на том, что их рабочая часть выносится из поля радиопомех и устанавливается выше над крышей, связь же антенны с приемником осуществляется антишумовым фидером, представляющим собой обычный двужильный шнур, с обеих сторон подключаемый к специальным высокочастотным трансформаторам.

Наибольшим признанием у радиолюбителей пользуется рамочная антенна, благодаря своей простоте и заметной эффективности снижения радиопомех

За последнее время получила распространение комнатная рамочная антенна в виде одного квадратного витка, подвешенного под потолком вдоль стен комнаты. Эта антенна дает эффект ослабления помех в диапазоне частот 0,15—1,5 *мггц*, где помехи наиболее сильны и не требуют никаких переделок входных цепей приемников Общая длина провода такой антенны составляет 16—30 *м*.

Применение указанных способов защиты от помех в месте приема хотя и помогает в ряде случаев, все же практически не решает вопроса борьбы с помехами от электроустройств.

Наиболее радикальным является метод борьбы с помехами в месте их возникновения, т е. непосредственно у источника помех На этом методе мы и остановимся ниже.

ПРИНЦИП ПОДАВЛЕНИЯ РАДИОПОМЕХ БЕЗ ПРИМЕНЕНИЯ СПЕЦИАЛЬНЫХ СРЕДСТВ

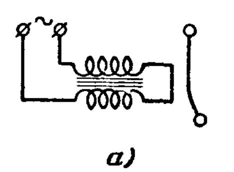
Прежде чем применять специальные средства подавления радиопомех, необходимо тщательно выявить возможности их устранения без каких-либо дополнительных мероприятий.

На практике нередко бывает так, что электроустройство, вызывающее помехи, без всякого ущерба для его основного назначения может быть заменено другим, выполняющим те же функции, но не создающим радиопомех Например, вместо коллекторной машины можно использовать машину переменного тока, вместо звонка постоянного тока применить звонок переменного тока, работающий без разрыва цепи (см. фиг. 5,*а*).

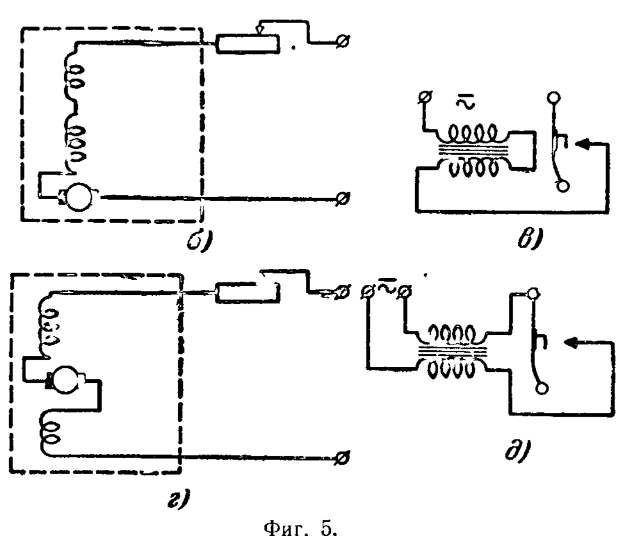
В тех случаях, когда есть возможность выбирать электроустройство по рабочему напряжению, следует

отдавать предпочтение устройству с меньшим рабочим напряжением.

Точно так же необходимо отдавать предпочтение электроустройствам с металлическим корпусом, наиболее полно закрывающим их внутреннюю схему.



Кроме того, для снижения радиопомех надо тщательно проверить сборку мешающей электроаппаратуры, устранить в ней ненадежные контакты и добиться плавного хода подвижных металлических деталей.



Фиг. 5.

а — схема звонка переменного тока, *б* и *в*—схемы машины последовательного возбуждения и звонка постоянного тока, *г* и *д*—те же схемы после симметрирования обмоток

В электрических машинах посточнного и переменного тока поверхность коллектора или колец должна быть ровной, а щетки притертыми. В монтажной схеме аппаратуры высокого напряжения необходимо устранять острые концы проводов и деталей, находящихся под высоким напряжением. Желательно на острые концы проводов помещать металлические шарики, благодаря чему уменьшаются радиопомехи. При этом чем выше напряжение, тем большего диаметра должен быть шарик.

Особо распространенными являются радиопомехи, вызываемые переменными контактами между металлическими

оболочками проводов, а также между металлическими массами, находящимися в поле радиопомех Устранение этих помех достигается путем надежного электрического соединения металлических масс и оболочек проводов с массой источника радиопомех и между собой.

Одним из эффективных средств подавления радиопомех является включение всех обмоток электроустройства в цепь рабочего тока симметрично относительно искрящего контакта и, следовательно, относительно э. д. с. радиопомех. На фиг. 5,*б* и 5,*в* приведены схемы сериесной машины и электрического звонка, а на фиг. 5,*г* и 5,*д* — схемы тех же электроустройств после указанного симметрирования: в первом случае — обмотки возбуждения машины, а во втором — обмотки электромагнита звонка.

Симметрирование состоит в том, что обмотки разбивают на две равные части и включают в оба провода источника помех, выравнивая с одной стороны его внутренние несимметричные сопротивления, а с другой — напряжения радиопомех между каждым проводом и землей.

Эти разные по знаку относительно земли и равные по величине напряжения создают между проводами и землей взаимно компенсирующиеся электрические поля, исключая тем самым их воздействие на антенну.

Магнитные поля проводов, в силу разного направления протекающих по ним токов помех, также будут взаимно компенсироваться и не смогут воздействовать на провода антенны.

Если после применения перечисленных способов уровень радиопомех останется достаточно высоким, следует применять фильтрацию и экранирование источника помех.

ПРИНЦИП ПОДАВЛЕНИЯ РАДИОПОМЕХ ПРИ ПОМОЩИ ФИЛЬТРОВ

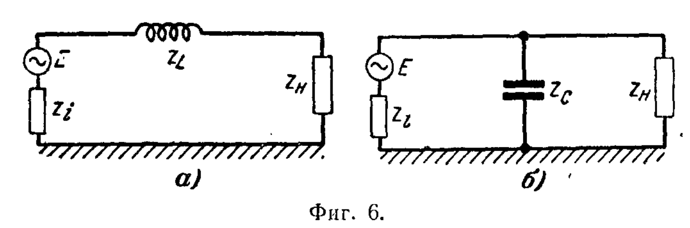
Фильтрацией называется такое изменение схемы электроустройства, которое снижает до необходимого значения напряжение радиопомех.

Как вытекает из эквивалентной схемы источника радиопомех (фиг. 2), для снижения их напряжения на сопротивлении $Z_н$ необходимо либо увеличить внутреннее высокочастотное сопротивление Z_i, либо уменьшить сопротивление линии $Z_н$. Чаще всего целесообразно применять одновременно и то и другое.

Увеличить внутреннее сопротивление Z_i возможно путем включения катушки индуктивности в каждый отходящий от источника радиопомех провод (фиг. 6,*а*).

Уменьшение сопротивления линии $Z_н$ по высокой частоте осуществляется посредством шунтирования высокочастотного сопротивления каждого провода конденсатором на корпус источника радиопомех или на землю (фиг. 6,*б*).

Разумеется, включение в провода катушек индуктивности будет эффективным лишь в том случае, если высокочастотное сопротивление катушки Z_L будет значительно бóльшим по величине, чем высокочастотное внутреннее



Фиг. 6.

а—схема увеличения внутреннего высокочастотного сопротивления источника радиопомех посредством включения катушки индуктивности; *б*—схема шунтирования конденсатором сопротивления линии по высокой частоте.

сопротивление источника радиопомех Z_i и высокочастотное входное сопротивление линии $Z_н$. Таким образом, включение катушки целесообразно, когда Z_i и $Z_н$ относительно малы по сравнению с Z_L, что позволяет сконструировать катушку, обладающую требуемой характеристикой сопротивления в зависимости от частоты при достаточно малом активном сопротивлении и габаритах.

Применение конденсатора, наоборот, целесообразно, когда Z_i и $Z_н$ достаточно велики по сравнению с сопротивлением блокировочного конденсатора Z_C.

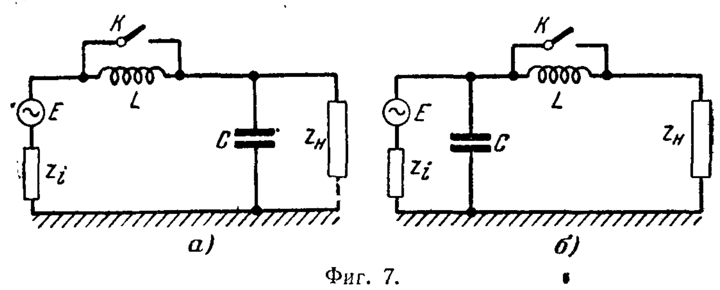
Если подавление помех посредством катушек индуктивности или конденсаторов не удается, создают более сложную схему фильтра. Для выбора его схемы предварительно следует определить, что должно явиться входным и выходным элементами фильтра; катушки индуктивности или конденсаторы.

Когда не имеется возможности измерить характеристику внутреннего высокочастотного сопротивления источника помех Z_i и характеристику внешнего высокочастотного сопротивления в зависимости от частоты, то входной и вы-

ходной элементы проектируемого фильтра определяют по эффективности подавления радиопомех на частоте 150 *кгц* при различных включениях специального Г-образного фильтра.

Для этой цели собирается экспериментальный Г-образный фильтр из деталей, которые подходят по электрическим, конструктивным соображениям, по размеру и весу. При этом коэффициент ослабления самого фильтра на частоте 150 *кгц* должен быть не меньше 10, для чего катушка индуктивности должна обладать сопротивлением на этой частоте, по крайней мере, в 11 раз бóльшим, чем конденсатор.

Кроме того, собственные резонансные частоты катушки индуктивности и конденсатора данного фильтра должны



Фиг. 7.

а—включение экспериментального фильтра индуктивностью в сторону источника; *б*—то же индуктивностью в сторону сети.

лежать выше 500 *кгц*. Это исключает влияние собственной емкости катушки и собственной индуктивности конденсатора на их сопротивление на частоте 150 *кгц*.

На фиг. 7 приведены две схемы включения экспериментального фильтра; в схемах предусмотрен ключ для замыкания катушки индуктивности. При выполнении эксперимента на выходе фильтра измерителем радиопомех, настроенным на частоту 150 *кгц*, определяют по обеим схемам два напряжения радиопомех: одно при замкнутом и другое при разомкнутом ключе.

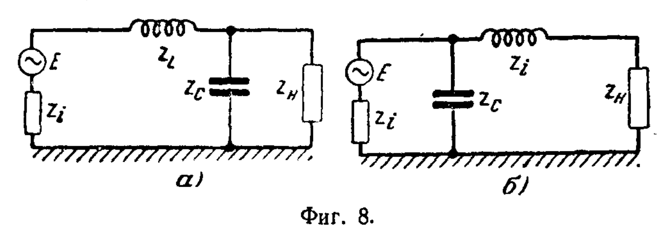
При подключении фильтра катушкой индуктивности в сторону источника радиопомех (фиг. 7,*а*) его конденсатор шунтирует на землю или корпус источника высокочастотное сопротивление электропроводки, а катушка оказывается включенной последовательно с внутренним высокочастотным сопротивлением источника помех.

Если катушка индуктивности мало изменяет напряжение радиопомех, это значит, что внутреннее высокочастот-

ное сопротивление их источника велико по сравнению с сопротивлением катушки индуктивности. Следовательно, ее применение на входе фильтра в данном случае нецелесообразно, а входным элементом должен быть конденсатор.

При подключении фильтра по схеме, приведенной на фиг. 7,*б*, конденсатором шунтируется источник радиопомех, а катушка индуктивности оказывается включенной последовательно с высокочастотным сопротивлением электропроводки.

Если при этом напряжение радиопомех, измеряемое на выходе фильтра, будет мало изменяться, значит, высокочастотное сопротивление электрической сети велико по сравнению с сопротивлением катушки. Следовательно, использо-



Фиг. 8.

а—схема Г-обрзвиого фильтра с индуктивным входом; *б*—схема Г-образного фильтра с емкостным входом.

вать ее в качестве выходного элемента фильтра нецелесообразно, а необходимо применить конденсатор.

Если же включение в схему катушки индуктивности ослабляет радиопомехи в 3—5 и более раз, то в зависимости от требований подавления помех она может быть применена в качестве входного (фиг. 7,*а*) или выходного (фиг. 7,*б*) элемента фильтра. Зачастую при этом дальнейший подбор фильтра заключается просто в увеличении или уменьшении индуктивности катушки в соответствии с заданной эффективностью подавления радиопомех. Когда целесообразность применения катушки очевидна, а изменение ее индуктивности и конструкции нежелательно, описанный опыт с Г-образным фильтром может быть повторен при конденсаторах большей емкости.

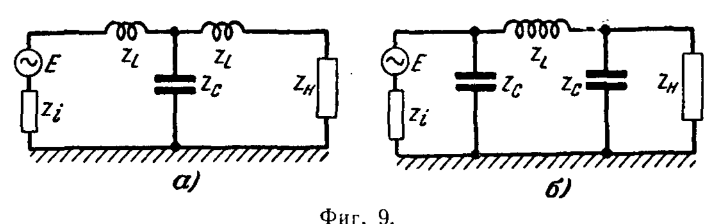
Таким образом, когда Z_i настолько мало, что последовательно с ним целесообразно включить катушку индуктивности, а $Z_н$ настолько велико, что требует шунтирования его конденсатором, то применяют Г-образный индуктивно-емкостный фильтр с индуктивным входом (фиг. 8,*а*). И, наоборот, когда Z_i достаточно велико, а $Z_н$ достаточно

мало, используют индуктивно-емкостный фильтр с емкостным входом (фиг. 8,*б*).

При высоких э. д. с. радиопомех и относительно малых Z_i и $Z_н$ включение одной катушки индуктивности может оказаться недостаточным, поэтому в таких случаях применяют Т-образный индуктивно-емкостный фильтр (фиг. 9,*а*).

При высоких э. д. с. радиопомех и относительно больших Z_i и $Z_н$ включение одного конденсатора тоже может оказаться неэффективным. В этом случае используют П-образный индуктивно-емкостный фильтр (фиг. 9,*б*).

В зависимости от требуемого коэффициента ослабления радиопомех могут применяться и более сложные, так называемые многозвенные, схемы фильтров, состоящие из нескольких Г-, П- или Т-образных звеньев.



Фиг. 9.
а—схема Т-образного фильтра; *б*—схема П-образного фильтра.

Элементы фильтра следует выбирать с большим вниманием, чтобы избежать появления вредных резонансов в защищаемом диапазоне частот. Эти резонансы могут быть созданы внутренним сопротивлением источника радиопомех и сопротивлением входного элемента фильтра, когда они носят реактивный характер, близки по величине и имеют разные знаки, или же сопротивлениями выходного элемента и линии при тех же условиях. Возникновение резонанса всегда приводит к резкому снижению эффективности действия фильтра.

Выбор величин элементов фильтра обычно связан с некоторыми трудностями, так как сопротивления Z_i и $Z_н$ нередко меняют свой знак по диапазону частот, приобретая емкостный или индуктивный характер.

Появление резонанса между Z_i и входными элементами, а также между $Z_н$ и выходными элементами фильтра может быть исключено либо путем создания значительной разницы в абсолютных величинах резонирующих сопротивлений, с тем чтобы вывести этот вредный резонанс за пределы защищае-

мого диапазона, либо таким подбором входных и выходных элементов фильтра, при котором их реактивные сопротивления в защищаемом диапазоне частот соответственно имели бы одинаковые знаки с сопротивлениями Z_i и $Z_н$.

На практике часто приходится использовать эти пути одновременно, выбирая в зависимости от высокочастотных характеристик сопротивлений Z_i и $Z_н$ характеристики высокочастотных сопротивлений катушки Z_L и конденсатора Z_C.

Значения индуктивности катушек, выбираемые в зависимости от заданных характеристики Z_L, силы тока в фильтруемом проводе, допустимого омического сопротивления и габаритов катушки, обычно лежат в пределах $1 — 10^5$ *мкгн.*

Значения емкости, выбираемые в зависимости от характеристики сопротивления конденсатора Z_C, рабочего напряжения и габаритов конденсатора, лежат в пределах от 0,01 до 10 *мкф*. Для емкостей меньше 0,01 *мкф* чаще всего используют слюдяные конденсаторы, а для емкостей свыше 10 *мкф* электролитические конденсаторы, если это допустимо и по другим электротехническим соображениям.

Величину емкости зачастую ограничивает то требование техники безопасности, в соответствии с которым ток через тело человека, коснувшегося незаземленного корпуса источника радиопомех, не должен превышать 1 *ма*.

Это требование в основном относится к зафильтрованным конденсаторами источникам радиопомех, работающим на переменном токе при незаземленном корпусе. Если же корпус заземлен, то величина емкости не ограничивается.

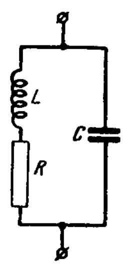
ФИЛЬТРЫ ДЛЯ ПОДАВЛЕНИЯ РАДИОПОМЕХ И ИХ ЭЛЕМЕНТЫ

Эффективность действия любого фильтра, предназначенного для подавления радиопомех, создаваемых электроустройством, определяется: правильностью выбора параметров фильтра L и C, качеством и взаимным расположением примененных в нем защитных катушек и конденсаторов, а также длиной и расположением монтажных проводников.

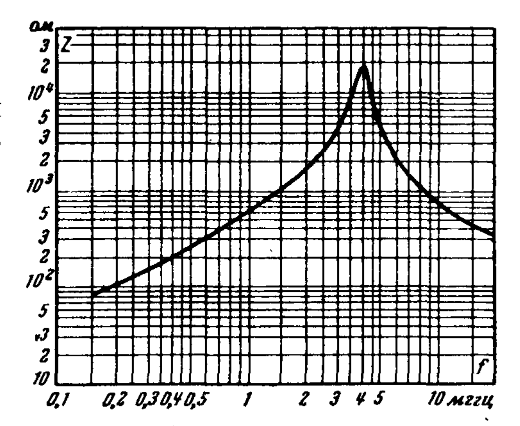
Прежде чем рассмотреть фильтры в целом, остановимся на их элементах: катушках индуктивности и конденсаторах.

Благодаря наличию у защитных катушек собственной емкости, а у защитных конденсаторов собственной индуктивности характеристики изменения их высокочастотных сопротивлений в зависимости от частоты существенно отличаются от подобных характеристик соответственно для чистой индуктивности или для чистой емкости.

Катушка индуктивности, работающая в области высоких частот, представляет собой не просто катушку, а колебательный контур, составленный из параллельно соединенных индуктивности катушки и ее собственной емкости (фиг. 10).



Фиг. 10. Эквивалентная схема защитной катушки индуктивности.



Фиг. 11. Характеристика полного сопротивления катушки в зависимости от частоты.

Характеристика полного сопротивления Z_L такого контура в зависимости от частоты приведена на фиг. 11. На частоте резонанса полное сопротивление контура максимально и чисто активно, на частотах ниже частоты резонанса оно носит индуктивный характер, а выше — емкостный.

Очевидно, что на частоте резонанса, когда полное сопротивление катушки максимально, она будет обеспечивать наибольшее подавление радиопомех.

Конденсатор для высоких частот также представляет собой не просто конденсатор, а последовательный контур, составленный из емкости конденсатора и его собственной индуктивности (фиг. 12).



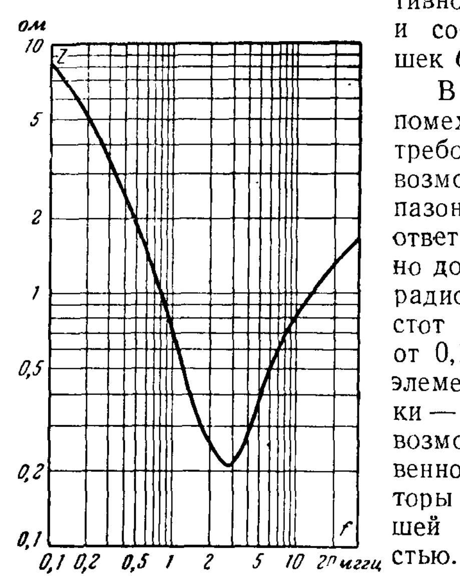
Фиг. 12. Эквивалентная схема защитного конденсатора.

Таким образом, характеристика сопротивления Z_C конденсатора в зависимости от частоты будет представлять собой резонансную кривую с минимумом сопротивления на частоте резонанса (фиг. 13).

На частотах ниже частоты резонанса полное сопротивление конденсатора будет емкостным, выше — индуктивным, а на частоте резонанса — чисто активным.

Из рассмотрения характеристик сопротивления защитных конденсаторов и катушек в зависимости от частоты

следует, что диапазон частот их эффективного использования будет тем шире, чем выше их частоты собственных резонансов, а следовательно, чем меньше собственная индуктивность конденсатора L_0 и собственная емкость катушек C_0.



Фиг. 13. Характеристика полного сопротивления конденсатора в зависимости от частоты.

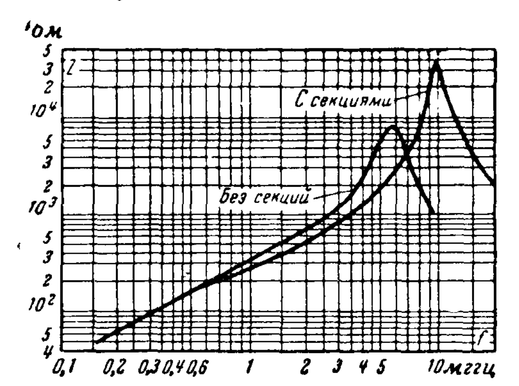
В практике борьбы с радиопомехами обычно выдвигается требование подавления их в возможно более широком диапазоне частот, например, в соответствии с нормами предельно допустимых индустриальных радиопомех этот диапазон частот заключается в пределах от 0,15 до 60 *мггц*. Поэтому элементы фильтров — катушки — стараются выполнить по возможности с меньшей собственной емкостью, а конденсаторы — по возможности с меньшей собственной индуктивностью.

Снижение собственной емкости катушки достигается посредством соответствующего ее конструктивного исполнения.

Одним из известных способов снижения собственной емкости катушек является секционирование обмотки. В качестве примера на фиг. 14 приведены высокочастотные характеристики сопротивления двух многослойных катушек с одинаковой индуктивностью 53 *мкгн*, но одна из них секционированная, а другая нет. К другим способам снижения собственной емкости катушек следует отнести применение различных видов малоемкостных намоток: универсальной, сотовой, корзинчатой и т. д.

В цилиндрических однослойных катушках уменьшение собственной емкости достигается уменьшением диаметра катушки, увеличением шага намотки и применением по возможности более тонкого провода. Собственная емкость однослойных цилиндрических катушек приближенно может быть найдена по формуле $C_0 = 0{,}6r$, где C_0 выражена в *мкмкф*, а r — радиус катушки в сантиметрах.

Другим способом получения лучшей характеристики сопротивления катушки Z_L в зависимости от частоты является применение катушек с сердечником; при этом резкое увеличение индуктивности катушки за счет магнитной проницаемости сердечника зачастую позволяет получить катушку требуемой индуктивности с относительно небольшой емкостью по сравнению с катушкой той же индуктивности, но не имеющей сердечника.



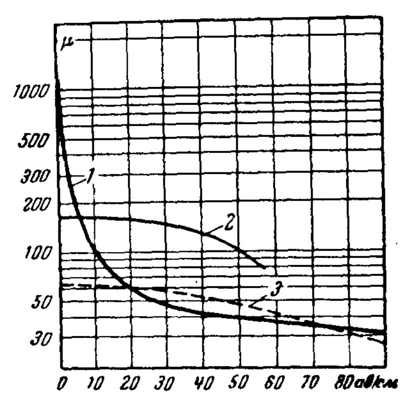
Фиг. 14. Сравнительные характеристики полного сопротивления секционированной и несекционированной многослойных защитных катушек индуктивности.

В качестве сердечников для защитных катушек применяются как замкнутые различных форм, и, в частности, кольцевые для тороидальных катушек, так и разомкнутые стержневые и других видов сердечники из тонкой листовой трансформаторной или генераторной стали; из ВЧ и ХВП стали, из листового материала, изготовленного из различных магнитных сплавов, как пермаллой, молибденовый пермаллой, а также прессованные сердечники из магнитодиэлектрика: альсифера, магнетита, карбонального железа и т. д.

Наибольший эффект в смысле увеличения индуктивности катушки за счет сердечника при наименьшем ее омическом сопротивлении дают катушки с кольцевым сердечником, так называемые тороидные катушки. Эти же катушки почти не теряют индуктивности при помещении их в экран.

На фиг. 15 представлена зависимость магнитной проницаемости материала сердечника μ от ампервитков (создаваемых рабочим током электроустройства, в цепь которого включена катушка), приходящихся на один сантиметр его длины. С увеличением ампервитков магнитная проницаемость сердечника падает, а следовательно, будет падать и индуктивность, так как она пропорциональна μ ($L = \mu L_1$), где L_1 — индуктивность катушки без сердечника. Наиболее резкое спадание магнитной проницаемости наблюдается у сердечников без зазора (кривая *1* фиг. 15), при

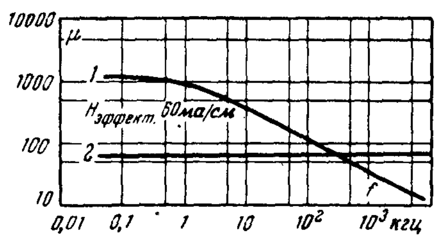
применении зазора спадание μ становится менее резким (кривая 2) и наконец менее всего зависит от подмагничивающих ампервитков магнитная проницаемость сердечников, изготовленных из магнитодиэлектрика (кривая 3).



Фиг. 15. Сравнительные характеристики зависимости магнитной проницаемости сердечника катушки от подмагничивающих ампервитков.

1—замкнутый сердечник из листовой генераторной стали; 2 – сердечник из листовой генераторной стали с зазором; 3 — замкнутый сердечник из магнитодиэлектрика.

Кроме того, очень ценным свойством магнитодиэлектрических сердечников является и то, что их магнитная проницаемость почти не зависит от частоты в весьма широком диапазоне частот. На фиг. 16 представлены сравнительные кривые зависимости магнитной проницаемости от частоты для сердечника из генераторной стали (кривая 1) и для сердечника из магнитодиэлектрика (кривая 2). Отсюда видно, что в то время как магнитная проницаемость генераторной стали резко падает при повышении частоты,—магнитная проницаемость магнитодиэлектрика вплоть до частоты 1 000 *кгц* остается постоянной.



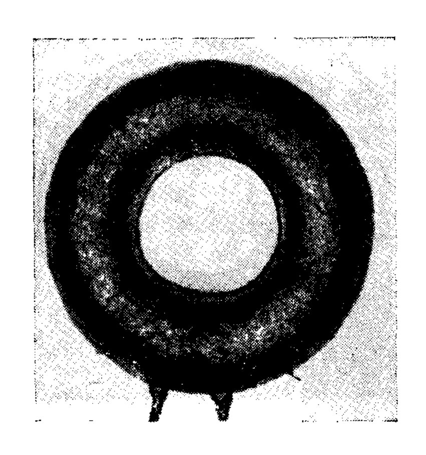
Фиг. 16. Сравнительные характеристики зависимости магнитной проницаемости от частоты для сердечника из листовой генераторной стали (кривая 1) и для сердечника из магнитодиэлектрика (кривая 2).

Таким образом, из всего сказанного следует, что наиболее желательным типом защитных катушек индуктивности являются тороидные катушки с сердечником из магнитодиэлектрика.

Необходимо отметить, что применение тороидной катушки с сердечником из магнитодиэлектрика тем более целесообразно, чем бо́льшая сила тока должна через нее протекать, так как эта конструкция позволяет значительно уменьшить габариты катушки и ее активное сопротивление.

Для облегчения намотки эти катушки на большие силы тока обычно наматываются многожильным проводом особой гибкости, например, применяемым для соединения щеток в электродвигателях и генераторах. Внешний вид тороидной катушки приведен на фиг. 17.

Теперь остановимся на мерах, которые должны быть приняты для снижения индуктивности в цепи конденсатора. Эта индуктивность складывается из собственной индуктивности конденсаторной секции и из индуктивности соединительных проводников, идущих как от каждого зажима конденсатора до секции, так и от одного его зажима до фильтруемого провода и от другого до корпуса источника радиопомех.



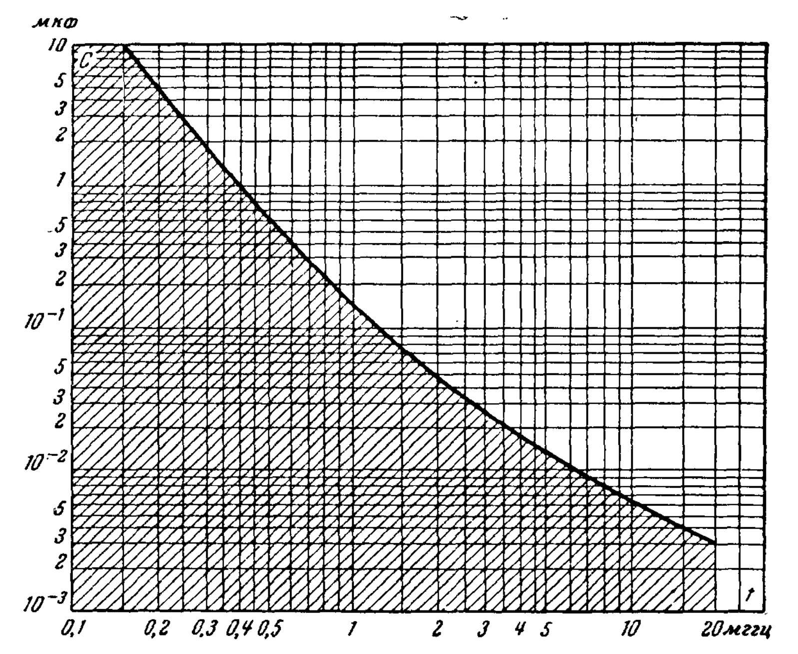
Фиг. 17. Внешний вид тороидной защитной катушки индуктивности.

Благодаря этому, как уже указывалось выше, полное сопротивление конденсатора в зависимости от частоты изменяется не обратно пропорционально частоте, как это должно быть у безиндукционных конденсаторов, где $Z = \frac{1}{\omega C}$, а по более сложному закону, и может быть найдено из выражения $Z_C = \sqrt{R^2 + \left(\omega L_0 - \frac{1}{\omega C}\right)^2}$. Характеристика $Z_C = F(f)$ для такого конденсатора уже приведена нами выше на фиг. 13. Из нее видно, что полное сопротивление конденсатора падает с повышением частоты лишь до определенной величины f_0, соответствующей резонансу между емкостью и индуктивностью конденсатора, а затем начинает возрастать, становясь индуктивным. На частоте резонанса f_0 оно чисто активное.

Это обстоятельство и ограничивает применение бумажных конденсаторов пределами диапазона, лежащего ниже резонансной частоты. Практически их можно применять в пределах заштрихованной зоны, изображенной на фиг. 18, где по оси абсцисс отложена предельная, наиболее высокая, рабочая частота конденсатора, а по оси ординат — получающаяся при этом его максимальная, предельная, емкость.

Таким образом, как видно из фиг. 18, конденсаторы емкостью в 1 *мкф* можно применять лишь для частот ниже 0,4 *мггц,* а емкостью 0,1 *мкф* — для частот ниже 1,3 *мггц.*

Следует, однако, отметить, что применимую для требуемого диапазона частот емкость можно определить по этому графику лишь в том случае, если внешние проводники конденсатора не длиннее 1—2 *см.* В противном случае они за счет своей длины увеличивают общую индуктивность, вклю-



Фиг. 18. Область применимости бумажных конденсаторов для подавления радиопомех.

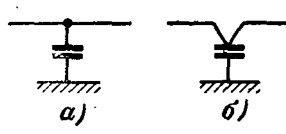
ченную в цепь конденсатора, и сдвигают частоту его резонанса в область более низких частот, уменьшая диапазон, в котором можно использовать конденсатор.

В связи с этим при монтаже любых конденсаторов, предназначенных для работы в диапазоне высоких частот, нужно в целях снижения индуктивности в цепи конденсатора отказаться от соединительных проводников и производить соединение не по схеме *а,* с дополнительным проводом, а по схеме *б* фиг. 19, где фильтруемый провод подводится непосредственно к зажиму конденсатора.

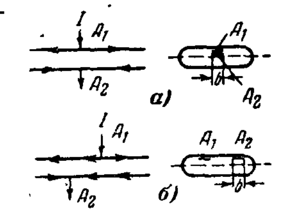
Помимо рационального монтажа конденсатора, его индуктивность можно резко снизить также за счет более удачной конструкции.

Основной частью всякого бумажного конденсатора является секция. Конденсатор может быть собран из одной или нескольких секций, соединенных параллельно, а иногда и последовательно. Каждая секция представляет собой две длинные ленты алюминиевой или оловянной фольги и несколько лент специальной бумаги толщиной 6—12 микрон, свитых в виде рулончика.

Между лентами фольги — обкладками — прокладывается несколько слоев бумаги (обычно не менее двух) в зависимости от рабочего напряжения конденсатора.



Фиг. 19. Схема подключения защитного конденсатора к фильтруемому проводу. *а*—неправильная; *б*—правильная.



Фиг. 20. Схема прохождения тока в конденсаторной секции. A_1 и A_2—выводы из конденсаторной секции.

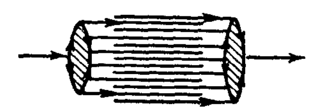
Собственная индуктивность конденсаторной секции зависит от способа выполнения выводов от обкладок конденсатора, которые делаются либо в виде вложенных в фольгу металлических полосок (одной или нескольких для каждой обкладки), либо путем взаимного смещения обкладок и запаивания витков на торце секции.

Для наибольшего снижения индуктивности в первом случае необходимо выводные полоски вкладывать с одного торца, без смещения по длине фольги. Из опыта следует, что если выводы лежат не точно друг над другом, а смещены по длине фольги, то часть обкладок, лежащая между выводами, обтекается токами в одном направлении, создавая добавочную индуктивность. Следовательно, индуктивность секции будет тем больше, чем больше будет витков между ее выводами. Простейшая схема прохождения тока в конденсаторной секции показана на фиг. 20.

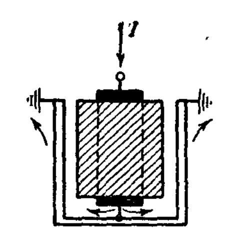
На практике в целях получения большей электрической прочности конденсаторов выводы все же обычно смещают относительно друг друга в пределах одного витка. Это дает возможность получить конденсатор с относительно неболь-

шой собственной индуктивностью, который можно применять для работы в определенном диапазоне высоких частот.

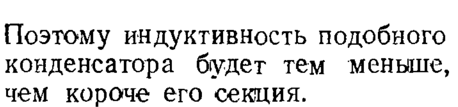
Индуктивность конденсаторных секций с запаянными торцами, как показала экспериментальная проверка, с достаточной точностью определяется индуктивностью проводника — эквивалента, сделанного из куска меди с теми же геометрическими размерами. К этому выводу легко прийти так же, если рассмотреть изображенную на фиг. 21 схему прохождения тока через такую конденсаторную секцию.



Фиг. 21. Схема прохождения тока в конденсаторной секции с запаянными торцами.



Фиг. 22. Схема конденсатора, у которого в целях снижения собственной индуктивности кожух сделан концентрическим относительно секции.



Поэтому индуктивность подобного конденсатора будет тем меньше, чем короче его секция.

Наконец, уменьшить внутреннюю индуктивность конденсатора можно, применив концентрический относительно секции кожух (фиг. 22). При этом совершенно необходимо, чтобы корпус был заземлен верхней своей частью. В таком случае ток, протекая по секции, а затем по кожуху конденсатора, создает в них магнитные потоки противоположных направлений, что и дает нужный результат.

Индуктивность внутренних и внешних соединительных проводников, как правило, значительно превышает индуктивность секции конденсатора.

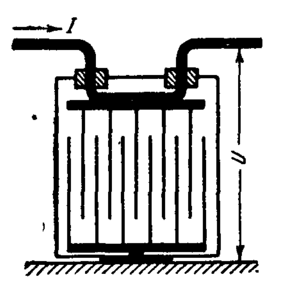
Поэтому их необходимо делать возможно короче или выполнять в виде скрученных или концентрических проводников. В первом случае два проводника идут вместе от конденсатора до точек их подключения; во втором — один провод проходит внутри другого.

Влияние внешних и внутренних подводящих проводов на общую индуктивность хорошо устранено в конструкциях конденсаторов, изображенных на фиг. 22 и 23.

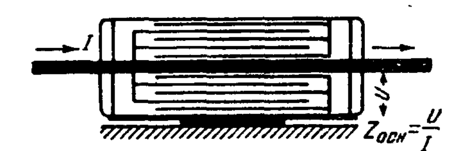
В последней из них рабочий ток проходит по специальной скобе, припаянной к одному из торцов секции, причем второй торец припаивается непосредственно к корпусу конденсатора.

Наилучшим образом задача снижения индуктивности конденсатора осуществлена в так называемых проходных конденсаторах. Минимальная индуктивность здесь достигается благодаря тому, что совершенно исключены как внешние, так и внутренние соединительные проводники.

Проходной конденсатор получил такое название потому, что сквозь него проходит сам фильтруемый провод. Для этой цели через конденсатор проходит специальный стер-



Фиг. 23. Схема конденсатора с токонесущим проводом, заведенным в его кожух.



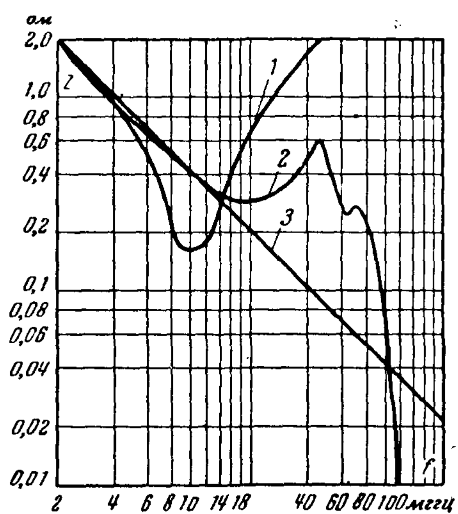
Фиг. 24. Конструкция проходного конденсатора.

жень, на который намотана секция, причем один ее торец запаян и спаян с кожухом конденсатора, а другой также запаян и спаян со стержнем.

Стержень включается в разрыв фильтруемого провода, а корпус конденсатора монтируется непосредственно на корпусе источника радиопомех. Таким образом, емкость конденсатора оказывается включенной между фильтруемым проводом и корпусом источника радиопомех. Одна из конструкций проходного конденсатора приведена на фиг. 24. Однако самым замечательным, что отличает проходные конденсаторы от обычных, является то обстоятельство, что характеристика их сопротивления Z_C в зависимости от частоты имеет существенные преимущества перед характеристиками обычных бумажных конденсаторов. На фиг. 25 представлены сравнительные характеристики сопротивления для обычного (кривая *1*) и проходного (кривая *2*) конденсаторов 0,033 *мкф*. Для «чистой» емкости сопротивление линейно падает с повышением частоты (кривая *3*). Это свойство характеристки сопротивления Z_C проходных конденсаторов позволяет с большим эффектом использовать их для подавления радиопомех в КВ- и УКВ-диапазонах, а также в широкодиапазонных фильтрах.

В настоящее время проходные конденсаторы являются основными конденсаторами, применяемыми в помехозащитных фильтрах.

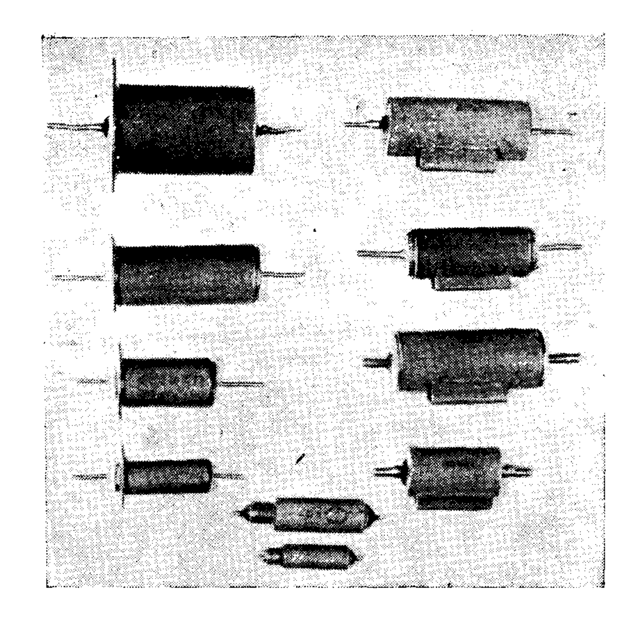
Наша промышленность выпускает проходные конденсаторы со следующими номиналами емкостей: 0,025; 0,05; 0,1; 0,5; 1 и 2 *мкф* на напряжения 1 500/500; 1 000/380; 500/220; 250/120; 110/50 *в* постоянного/переменного тока и на допустимый ток в стержне не более 70 *а*. Конденсаторы выпускаются с различными типами креплений к корпусу фильтра: с фланцевым, с креплением скобой и с резьбовым креплением. Внешний вид проходных конденсаторов с различными типами креплений приведен на фиг 26. Наилучшим с электрической точки зрения креплением является резьбовое. Конденсаторы климатически стойкие имеют герметический кожух и могут работать в интервале температур от —40 до +70° С, а при пониженных против номинала напряжениях допустимо повышение температуры окружающего воздуха до 100° С.



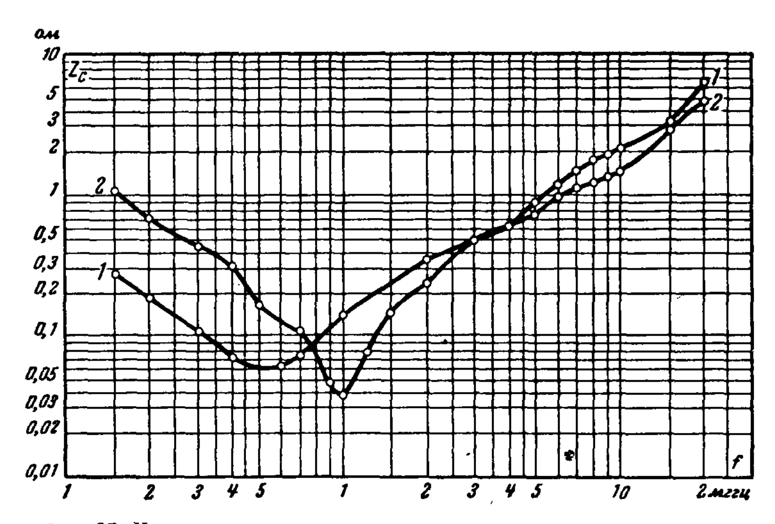
Фиг. 25. Сравнительные характеристики полного сопротивления конденсаторов. 1—для обычного конденсатора; 2—для проходного конденсатора; 3 – для „чистой“ емкости.

В случае необходимости получить большую емкость при малых габаритах для целей фильтрации применяются либо конденсаторы, секции которых изготовлены из металлизированной бумаги, либо же электролитические конденсаторы,—последние применяются только при фильтрации цепей постоянного тока. Эквивалентная схема конденсаторов из металлизированной бумаги, для высокой частоты такова же, как и у обычных бумажных конденсаторов (фиг. 12). Поэтому и характеристики их сопротивления в зависимости от частоты тоже аналогичны (фиг. 27).

Эквивалентная схема электролитического конденсатора для высоких частот, вообще говоря, выглядит несколько сложнее, однако основными параметрами, определяющими зависимость их сопротивления Z_C от частоты, являются емкость и собственная индуктивность конденсатора, что и



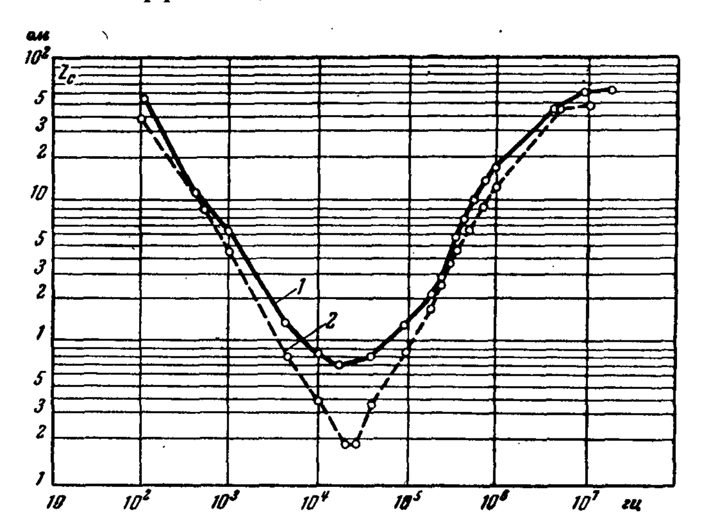
Фиг. 26. Внешний вид проходных конденсаторов с различными видами креплений к корпусу фильтра.



Фиг. 27. Характеристики полного сопротивления конденсаторов, секции которых изготовлены из металлизированной бумаги.
Кривая 1 для конденсатора емкостью 4 *мкф* и кривая 2 для конденсатора емкостью 1 *мкф*.

дает весьма схожие характеристики сопротивления Z_c электролитических конденсаторов и бумажных (фиг. 28).

Из приведенного рассмотрения характеристик сопротивления защитных катушек индуктивности и защитных конденсаторов в зависимости от частоты следует, что при конструировании фильтров необходимо так выбирать и монтировать защитные конденсаторы и катушки, чтобы получить наибольший эффект подавления помех.



Фиг. 28. Характеристики сопротивления электролитических конденсаторов.

Кривая 1 для конденсатора 20 *мкф*, кривая 2 для конденсатора 30 *мкф*.

При конструировании фильтров следует также обращать серьезное внимание на то, чтобы собственная частота резонанса фильтра была по крайней мере в 3 раза ниже самой низкой частоты защищаемого диапазона частот, так как в противном случае фильтр вместо подавления при определенных условиях может увеличивать радиопомехи. Согласно «Нормам предельно допустимых индустриальных радиопомех и метода измерений», самой низкой частотой защищаемого диапазона является частота 0,15 *мггц*; это значит, что собственная частота фильтра должна быть не выше 50 *кгц*. При этом для Г-образных и Т-образных фильтров должно выполняться условие: $L \cdot C \geqslant 10$, где L — индуктивность катушки Г-образного фильтра или индуктивность любой из катушек Г-образного фильтра, выраженная

в микрогенри, а C — емкость фильтра, выраженная в микрофарадах.

В случае П-образных фильтров это условие выражается следующим образом: $L\frac{C_1 \cdot C_2}{C_1+C_2} \geqslant 10$, где L — индуктивность катушки фильтра, выраженная в микрогенри, а C_1 и C_2 — соответственно входная и выходная емкости фильтра, выраженные в микрофарадах.

Необходимо также заметить, что, согласно действующим нормам, для самой низкой частоты защищаемого диапазона, т. е. для 0,15 *мггц*, где у подавляющего большинства источников помех уровень помех максимальный, а коэффициент подавления фильтра обычно минимальный, коэффициент подавления Г-образного фильтра с индуктивным входом или коэффициент подавления Г-образной части П-образного фильтра могут быть приближенно рассчитаны по нижеследующей простой формуле, определяющей коэффициент подавления на частоте 159 *кгц* $\approx$ 150 *кгц*:

$$K = L \cdot C,$$

где L — индуктивность катушки фильтра в микрогенри;
C — емкость конденсатора в микрофарадах;
K — коэффициент подавления помех, представляющий собой отношение входного напряжения радиопомех к выходному.

На фиг. 29 и 30 приведены расчетные графики коэффициента подавления помех соответственно для однозвенного и двухзвенного Г-образных индуктивно-емкостных фильтров. Выбрав емкость конденсатора и зная необходимый коэффициент подавления, по ним легко определить требующуюся индуктивность катушек фильтра. График фиг. 30 дан для двухзвенного Г-образного фильтра, у которого катушки имеют одинаковую индуктивность, а конденсаторы — одинаковую емкость. График фиг. 30 рассчитан по формуле

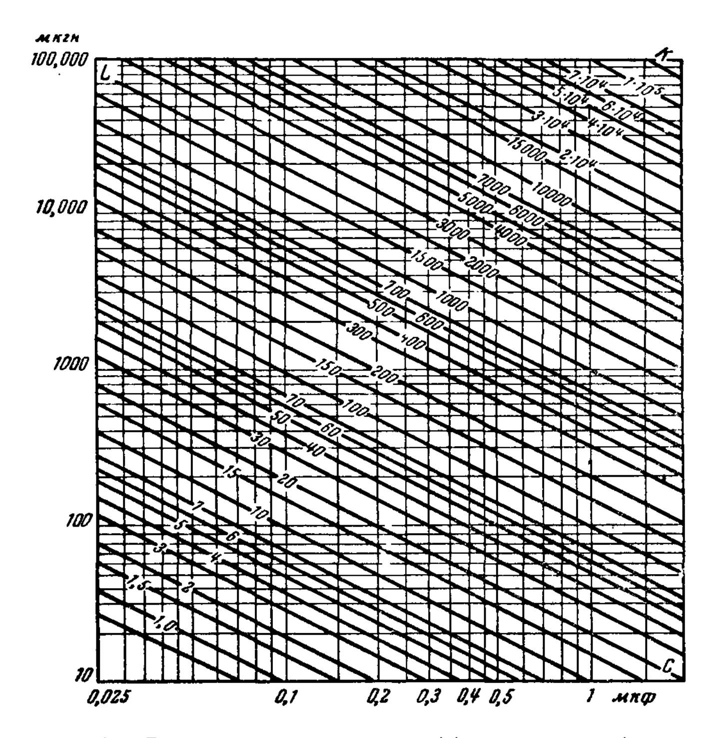
$$K = (L \cdot C)^2.$$

Если параметры фильтра выбраны так, что обеспечивается подавление радиопомех на самой низкой частоте, то на более высоких частотах подавление помех будет еще бо́льшим.

Однако это возрастание коэффициента подавления происходит до некоторого предела и прекращается, начиная

с частоты собственного резонанса конденсатора или катушки в зависимости от того, которая из них будет ниже.

В промежутке между частотами резонанса коэффициент подавления будет практически постоянен, а при применении проходных конденсаторов будет оставаться либо примерно



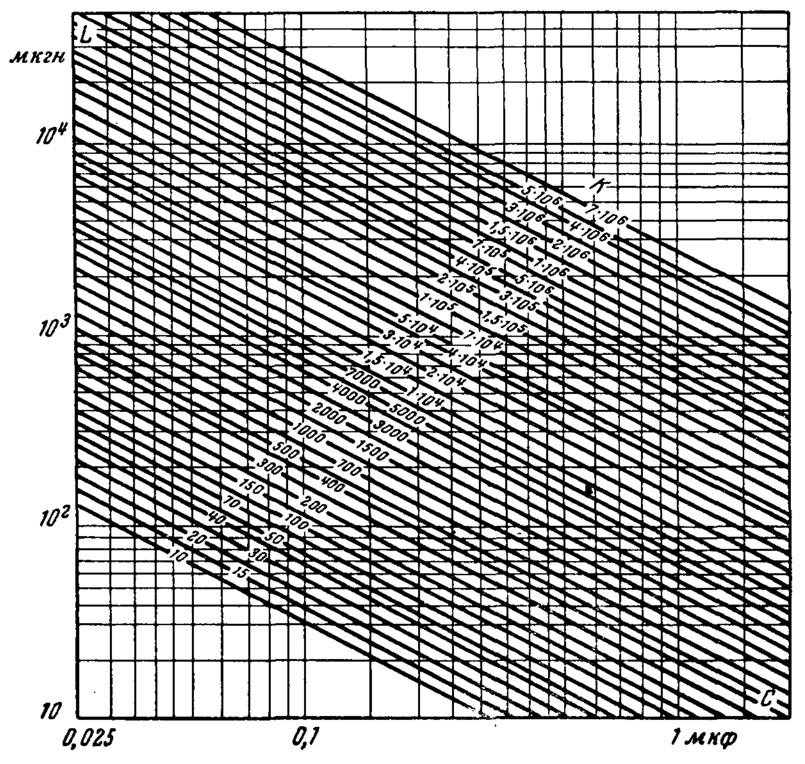
Фиг. 29. График для расчета коэффициента ослабления радиопомех в однозвенном Г-образном фильтре с индуктивным входом.

постоянным, либо несколько возрастающим с повышением частоты даже и в области частот выше резонансной частоты конденсатора.

При применении обычных конденсаторов коэффициент ослабления будет падать на частотах более высоких, чем частота резонанса конденсатора или катушки, в зависимости от того, которая из частот будет выше.

Примерный упрощенный внешний вид характеристики коэффициента подавления K в зависимости от частоты f

для Г-образного фильтра с индуктивным входом или коэффициента ослабления для Г-образного звена П-образного фильтра в зависимости от частоты приведен на фиг. 31. Кривая *1* соответствует фильтрам на обычных конденсаторах, а кривая *2* — на проходных. На кривой *1* точки ее перело-



Фиг. 30. График для расчета коэффициента ослабления радиопомех в двухзвенном Г-образном фильтре с индуктивным входом.

ма соответствуют частотам резонансов конденсатора или катушки индуктивности, причем каждая из этих точек может соответствовать либо частоте резонанса конденсатора, либо частоте резонанса катушки индуктивности, в зависимости от параметров конденсатора C и L_0 и катушки L и C_0. Величины L_0 и C_0 могут быть либо измерены, что наиболее желательно, либо рассчитаны по соответствующим формулам.

Резонансные частоты катушки и конденсатора фильтра легко могут быть рассчитаны по формулам:

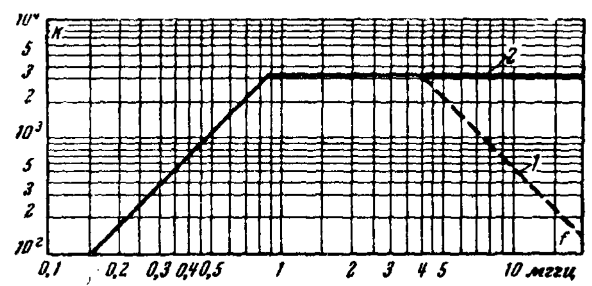
для катушки

$$f_0 = \frac{159}{\sqrt{L_{мкгн} C_{0 мкмкф}}} \ мггц,$$

для конденсатора

$$f_0 = \frac{159}{\sqrt{L_{0 мкгн} C_{мкф}}} \ кгц.$$

При применении проходных конденсаторов имеется лишь один перелом кривой, — соответствующий частоте



Фиг. 31. Вид упрощенных характеристик коэффициента ослабления радиопомех Г-образного индуктивно-емкостного фильтра.

Кривая 1 — при применении обычных конденсаторов; кривая 2—при применении проходных конденсаторов.

резонанса катушки индуктивности, а затем с повышением частоты коэффициент подавления либо остается постоянным, либо несколько возрастает.

Исходя из сказанного, следует, что для распространения свойств фильтра подавлять радиопомехи в сторону высоких частот необходимо, чтобы частота собственного резонанса, по крайней мере одного из элементов фильтра — катушки или конденсатора, была по возможности более высокой. Поэтому при конструировании широкодиапазонных фильтров и при использовании для них обычных конденсаторов большой емкости (1, 2 или более микрофарад), собственный резонанс которых лежит на относительно низких частотах, необходимо применять защитную катушку по возможности меньшей индуктивности при одновременном соблюдении условий: $L \cdot C \geqslant 10$ для Г-образных и Т-образных фильтров и $L \cdot \frac{C_1 \cdot C_2}{C_1 + C_2} \geqslant 10$ для П-образных фильтров. При этом в случае недостаточной эффективности одного звена фильтра нельзя прибегать к увеличению индук-

тивности, а следует переходить к многозвенной схеме фильтра.

При применении в фильтре проходных конденсаторов требования в отношении резонансной частоты катушки, исходя из необходимого подавления радиопомех, становятся менее жесткими, однако коэффициент подавления фильтра на средних и коротких волнах будет тем выше, чем выше частота резонанса катушки индуктивности.

В дополнение ко всему сказанному о фильтрах следует заметить, что эффективное действие фильтра в значительной мере определяется его конструкцией.

Основными моментами, которые следует иметь в виду при конструировании фильтров, являются следующие:

1. Конденсаторы фильтров и их проводники должны быть экранированы от катушек индуктивности, а катушки индуктивности друг от друга.

2. Желательно, чтобы корпуса всех конденсаторов, являющиеся второй обкладкой, соединялись с корпусом фильтра по возможности в одной точке.

3. Вход и выход фильтра желательно осуществлять с противоположных сторон корпуса фильтра; а в тех случаях, когда это невозможно, вход и выход делаются на одной стенке кожуха фильтра, но при этом должны быть приняты меры к экранированию входных и выходных проводников.

4. Во всех случаях конденсаторы фильтра должны размещаться на его корпусе так, чтобы обеспечивался наикратчайший путь высокочастотному току помех к корпусу источника радиопомех. Лучше всего монтировать конденсаторы на дне фильтрового кожуха, который привинчивается к корпусу источника радиопомех.

5. В фильтрах, предназначенных для подавления радиопомех, имеющих коэффициент подавления свыше 1 000 в диапазоне частот, превышающем 1 *мггц*, не допускается применение неэкранированных друг от друга элементов.

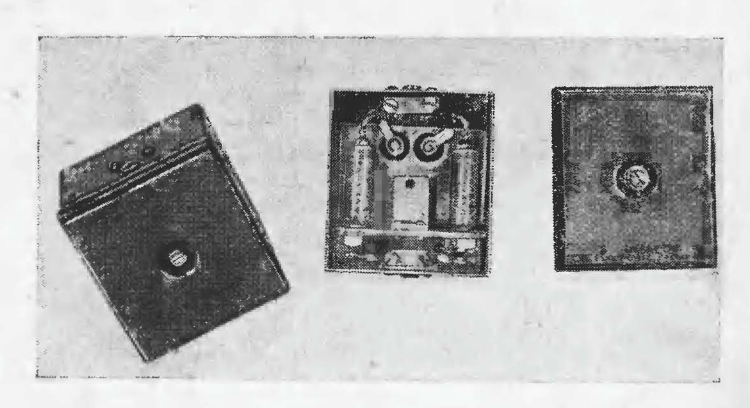
На фиг. 32 изображен внешний вид Г-образного фильтра на силу тока 0,5 *а* и напряжение 250 *в* постоянного тока.

Сверху видны два проходных конденсатора емкостью 0,025 *мкф*, под ними общий кожух двух экранированных и магнитно связанных катушек[1] индуктивностью по 1,4 *мгн*

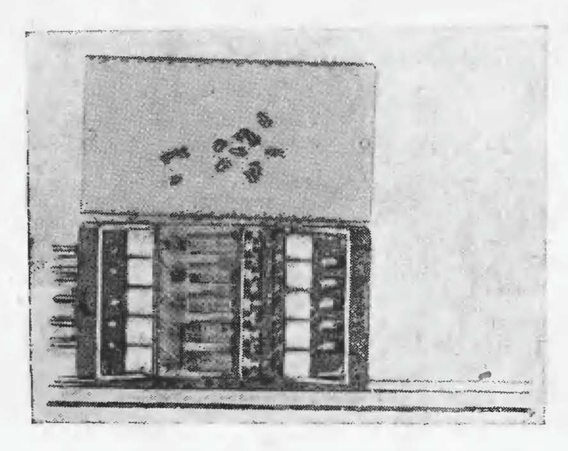
---

[1] Применяются при необходимости уменьшить падение напряжения на индуктивном сопротивлении катушек фильтра, когда он работает в цепи переменного тока. Для этой цели катушки фильтра включаются так, чтобы их магнитные потоки были направлены навстречу друг другу.

каждая. Конденсаторы ввинчены в металлическую скобу, служащую одновременно экраном между входными и выходными проводниками внутреннего монтажа фильтра. Для укрепления на корпусе фильтра панцырной оплетки, экра-



Фиг. 32. Внешний вид Г-образного фильтра на силу тока ~0,5 *а* и напряжение 250 *в* постоянного тока. В фильтре применены проходные конденсаторы.



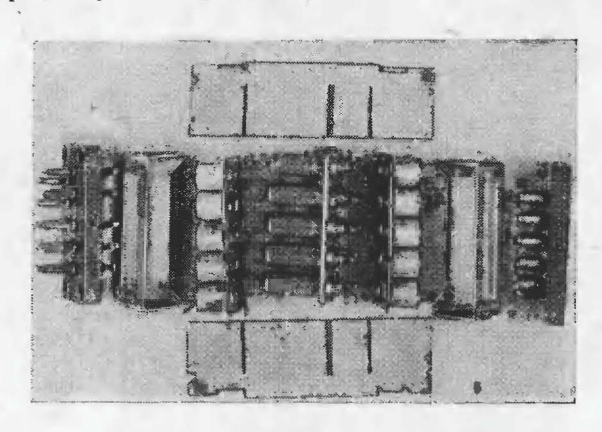
Фиг. 33. Внешний вид десятипроводного Т-образного фильтра.

нирующей входные и выходные проводники фильтра, у отверстий, через которые проводники вводятся в фильтр, установлены специальные зажимные скобы.

На фиг. 33 и 34 изображен внешний вид десятипроводного однозвенного Т-образного фильтра на напряжение

110 *в* постоянного тока и силу тока 0,2 *а*. Фильтр выполнен на проходных конденсаторах емкостью 0,05 *мкф* с резьбовым креплением. Катушки фильтра многослойной намотки индуктивностью 400 *мкгн* каждая. Конструкция фильтра разборная. Все элементы конструкции крепятся на состоящем из двух частей металлическом шасси (фиг. 34). Входные и выходные проводники выведены на колодки штепсельного разъема.

В собранном виде плата, на которой укреплены конденсаторы, служит экраном, разделяющим входные и вы-

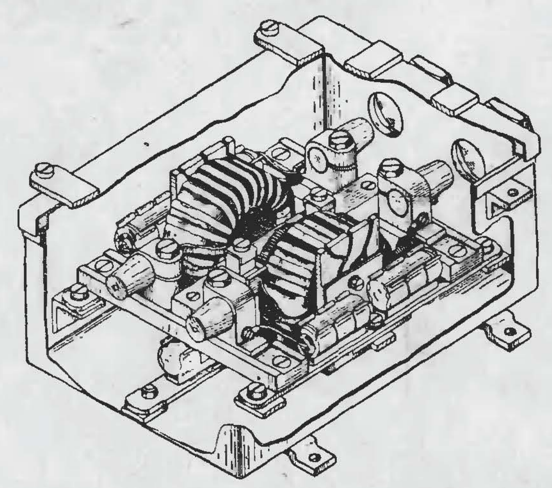


Фиг. 34. Внешний вид десятипроводного Т-образного фильтра в разобранном состоянии.

ходные катушки. Полная экранировка этих катушек достигается при надетом кожухе фильтра.

На фиг. 35 приведен чертеж конструкции П-образного трехпроводного индуктивно-емкостного фильтра для подавления помех от электрических машин постоянного тока на напряжение 220 *в* и силу тока 150 *а*. Третье звено фильтра предназначено для подавления помех в цепи обмотки возбуждения и рассчитано на соответственно меньшую силу тока. Характерным для фильтра на такую силу тока является применение катушек тороидного типа, намотанных на кольцевой сердечник из магнитодиэлектрика. Этим достигается значительное увеличение индуктивности катушек при небольшом их омическом сопротивлении и, следовательно, при малой потере мощности в фильтре. Кроме того, применение тороидных катушек понижает требования к экранировке вследствие их незначительного внешнего поля.

В фильтре применены обычные бумажные конденсаторы, резонирующие с индуктивностью своих соединительных проводников на определенной частоте. Собственная частота резонанса катушек в данном случае выше, чем частота резонанса конденсатора, и определяет собой наивысшую частоту, после которой защитные свойства фильтра ухудшаются. Входные и выходные проводники в кожухе фильтра и зажимы не экранированы. Такая конструкция фильтра применима в случае невысоких требований к его эффективности и для относительно узкого диапазона частот.



Фиг. 35. Конструкция трехпроводного П-образного фильтра. В фильтре применены тороидные катушки индуктивности.

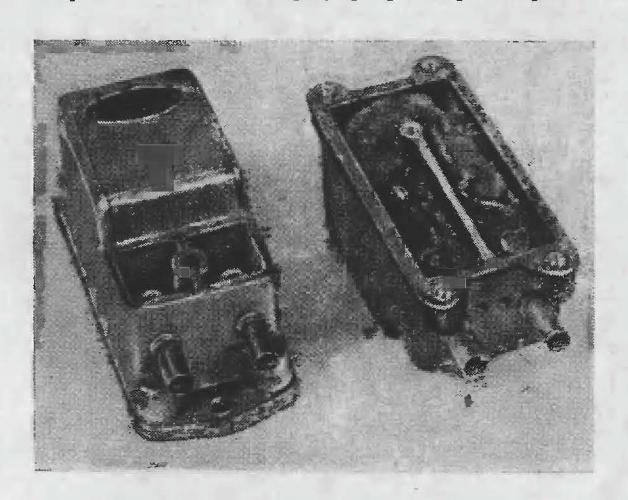
Она неприменима на очень высоких частотах вследствие наличия неизбежных внутренних емкостных и индуктивных связей входных и выходных цепей.

Ориентировочно можно считать, что такая конструкция приемлема лишь для частот, не превышающих 3—5 *мггц*.

На фиг. 36 приведена еще одна конструкция фильтра, рассчитанного на ток до 5 *а*. Фильтр П-образный, однопроводный, выполненный в литом кожухе. В качестве конденсаторов применены конденсаторные секции из металлизированной бумаги, что позволило получить большую емкость (4 *мкф*) при относительно небольших габаритах. В качестве катушки применена обычная многослойная катушка универсальной намотки индуктивностью 40 *мкгн* с стержневым сердечником, собранным из трансформаторной стали.

Катушка и конденсаторные секции помещаются в ячейках литого корпуса без каких-либо креплений. Затем производится припайка проводов катушки непосредственно к соответствующим торцам конденсаторных секций (с тем, чтобы исключить какие-либо соединительные проводники от секции к катушке, могущие увеличить собственную индуктивность конденсатора); далее проводники катушки припаиваются к зажимам фильтра.

Противоположные торцы секций припаиваются весьма коротким проводником к корпусу фильтра. При этом кор-



Фиг. 36. Внешний вид однопроводного П-образного фильтра. В фильтре применены конденсаторные секции из металлизированной бумаги.

пус фильтра является обратным внешним проводом каждой конденсаторной секции по высокой частоте, что дополнительно уменьшает индуктивность в цепи конденсатора.

После того как все соединения сделаны, фильтр заливается битумом с высокой точкой плавления (благодаря этому допускается нагрев фильтра до температуры порядка 100° С). Это позволяет не делать каких-либо креплений элементов фильтра и улучшает его охлаждение, так как от катушки через битум тепло передается корпусу фильтра, а затем к металлической массе, на которой он установлен.

Такие фильтры применяются преимущественно на большие токи, порядка нескольких десятков или сотен ампер. Экранировка элементов фильтра при привинченных дне и

крышке отделений, в которых помещены зажимы, получается весьма высокой. Такая конструкция позволяет создать широкодиапазонный фильтр на обычных конденсаторах.

Расширение характеристики коэффициента подавления фильтра в сторону высоких частот здесь может быть достигнуто лишь путем уменьшения индуктивности за счет увеличения емкости.

Одним из серьезных недостатков данной конструкции является невысокая по сравнению с вакуумплотной герметичность, что ограничивает ее применение цепями с невысокими рабочими напряжениями (на 100—200 *в*).

ЭКРАНИРОВАНИЕ

Выше мы рассмотрели вопросы подавления радиопомех в отходящих от источника радиопомех проводах, однако для полного устранения радиопомех необходимо подавить электромагнитное поле, создаваемое в непосредственной близости от источника системой его внутренних электропроводок.

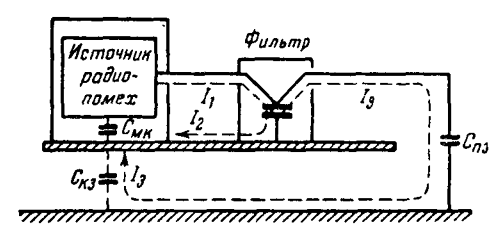
Эта задача решается путем применения экранирования. Экранирование подразделяется на три основных вида: электростатическое, магнитостатическое и электромагнитное. Электростатическое и магнитостатическое экранирования основаны на замыкании экраном, обладающим в первом случае высокой электропроводностью, а во втором магнитопроводностью, соответственно электрического или магнитного поля. На высокой частоте применяется исключительно электромагнитное экранирование. Действие электромагнитного экрана основано на том, что высокочастотное электромагнитное поле ослабляется им же созданным (благодаря образующимся в толще экрана вихревым токам) полем обратного направления.

Необходимость экранирования самого источника радиопомех обычно возникает при больших размерах источника, при наличии незащищенных корпусом внутренних его электропроводок, при высокой интенсивности радиопомех и при близком расположении приемной антенны.

У большинства источников радиопомех имеется металлический корпус. Для высокочастотных полей радиопомех он является электромагнитным экраном и в случае отсутствия в этом экране щелей и отверстий электромагнитное поле внутренней схемы электроустройства не будет являться источником радиопомех. При условии подавления радиопомех в проводах мешающее действие источника радиопо-

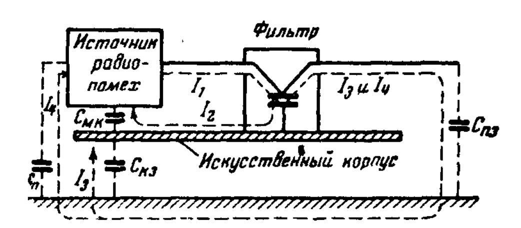
мех будет устранено даже для радиоприемных устройств, расположенных рядом с источником радиопомех. Экранирование источника обычно сводится к закрытию отверстий на его корпусе. Если корпус отсутствует, то приходится его изготовить и установить.

Из фиг. 37 видно, что при наличии герметичного корпуса—экрана электрического устройства и при подавлении помех в отходящих от него проводах посредством фильтра ток радиопомех I_3, ответвляющийся в сеть, может быть путем необходимого повышения эффективности фильтра доведен до весьма малой величины.



Фиг. 37. Схема распространения радиопомех у экранированного источника радиопомех.

В этом случае можно полностью подавить радиопомехи, дополнив экранирование высокоэффективной фильтрацией.



Фиг. 38. Схема распространения радиопомех у источника радиопомех, имеющего несовершенную экранировку.

Дело обстоит сложнее, когда корпус источника радиопомех не представляет собой герметичного экрана, имея окна (например, для охлаждения и доступа к щеткам у электрических машин), щели и т. д.

Эквивалентная схема источника радиопомех для этого случая может быть представлена в соответствии с фиг. 38, из которой видно, что здесь по сравнению со схемой фиг. 37 ток радиопомех I_1 разветвляется не на две, а на три составляющие тока — I_2, I_3 и I_4. Появление третьей составляющей I_4 вызвано электрическим полем (т. е. емкостью $C_п$) между внутренней электропроводкой и токонесущими частями источника помех и землей.

Только устранение емкости $C_п$ путем экранирования может решить вопрос подавления радиопомех, так как никакой фильтр не может устранить ток I_4. Следовательно, устранение в линии тока I_4 возможно только путем закры-

тия отверстий в корпусе источника радиопомех, т. е. путем дополнительного экранирования.

Практика подавления радиопомех, однако, показывает, что не всегда возникает необходимость закрытия экранами окон и щелей в корпусе источника радиопомех. Она появляется лишь в тех случаях, когда отверстия в корпусе источника радиопомех настолько велики, что включение фильтров в отходящие провода не дает требуемого подавления помех или когда радиоприемное устройство расположено в непосредственной близости к источнику радиопомех и подвержено влиянию его поля. Необходимость экранирования может возникнуть и тогда, когда какие-либо электропроводки, находящиеся в поле недостаточно экранированного источника помех, близко подходят к радиоприемному устройству или подключаются к нему.

Зачастую, однако, щели и окна в корпусах источников помех бывают достаточно малы, и необходимость в дополнительном экранировании отпадает.

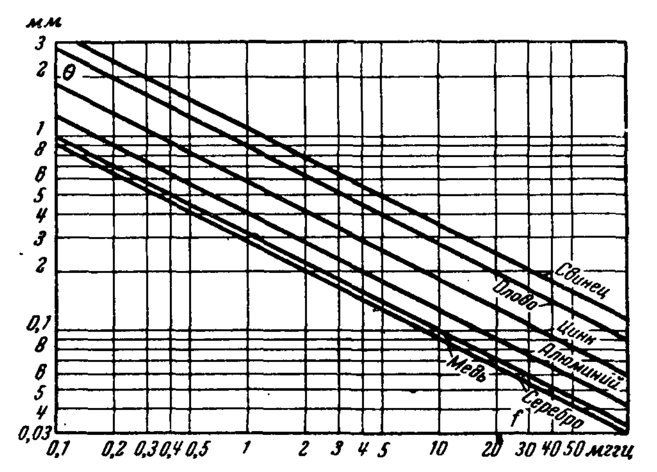
Наиболее сложным является подавление радиопомех, создаваемых бескорпусными электроустройствами. К таким устройствам чаще всего относятся различные контактные системы. Сложность подавления радиопомех в проводах бескорпусных устройств состоит прежде всего в том, что корпус фильтра в связи с отсутствием корпуса источника необходимо соединять непосредственно с землей, выполнение же этого соединения зачастую бывает делом весьма неудобным, а подчас и сложным. Кроме того, эффективность фильтра в этом случае всегда сильно падает за счет сопротивления заземления, которое оказывается включенным между корпусом фильтра и землей и увеличивает общее сопротивление по высокой частоте между проводами, в которых подавляются радиопомехи, и землей, что облегчает доступ токов радиопомех в провода. Затем всегда остается неустраненным поле радиопомех между источником помех и землей.

Это обстоятельство обычно приводит к необходимости установки экрана у бескорпусных электроустройств источников радиопомех.

Экран может быть сделан либо полностью закрывающим источник радиопомех, тогда это будет соответствовать схеме, изображенной на фиг. 37, либо закрывающим частично, что будет соответствовать схеме фиг. 38. Экран целесообразнее всего предусмотреть еще при конструировании самого электроустройства, так как это позволит электроустрой-

ство и экран выполнить, как единое конструктивное целое, что обеспечит как надежность работы экрана, так и удобство эксплуатации устройства.

При выполнении работ по экранированию прежде всего встает вопрос о выборе материала экрана. Оценку экранирующих свойств материала для экрана при его конструировании обычно делают по степени затухания помех в экранирующей оболочке. Мерой затухания здесь служит та



Фиг. 39. Зависимость глубины проникновения токов радиопомех в толщу экрана от частоты и от материала экрана.

глубина проникновения высокочастотного тока радиопомех в толщу экрана, при которой амплитуда поля уменьшается в 100 раз.

Эта глубина определяется по формуле

$$\theta = 2{,}32 \cdot \sqrt{\frac{\rho}{\mu f}},$$

где θ — глубина проникновения, *мм*;

ρ — удельное сопротивление, *ом·мм²/м*;

μ — магнитная проницаемость материала экрана, для немагнитных материалов равная единице;

f — частота, *мггц*.

Значения θ приведены на графике фиг. 39. Необходимо заметить, что кривая глубины проникновения для стального экрана тут не приведена, так как магнитная проницае-

мость стали на высоких частотах является величиной неопределенной и падает с частотой. Однако стальные экраны широко распространены и показали себя весьма эффективными, особенно на средних и низких радиочастотах. В диапазоне УКВ они работают несколько хуже диамагнитных и поэтому при желании получить широкодиапазонный экран, хорошо работающий как на низких, так и на высоких частотах, часто прибегают к применению двойных экранов, например стальных и медных.

Обычно толщина экрана выбирается равной глубине проникновения θ, что обеспечивает спадание поля помех в 100 раз и в большинстве случаев практики оказывается достаточным. При необходимости большего подавления радиопомех толщину материала экрана следует увеличивать. Практически часто берут толщину экрана большей, исходя из конструктивных соображений и соображений механической прочности.

Успех экранировки источника радиопомех, а также и его проводов существенно зависит от ее выполнения.

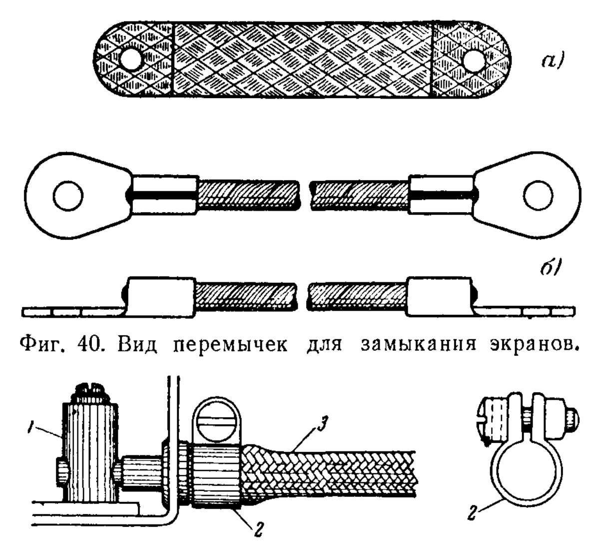
При осуществлении экранировки источника радиопомех следует следить за тем, чтобы все сочленяемые части экрана имели надежный контакт между собой, так как в противном случае, за счет плохого контакта между металлическими массами экрана, последний может сам стать источником радиопомех (например, из-за наличия плохих контактов экранирующей оболочки проводов с корпусом источника помех или с корпусом фильтра). При наличии больших переходных сопротивлений в любом месте системы экранирования источника помех нужно принять меры к снижению переходных сопротивлений либо путем надежного свинчивания, либо когда это допустимо путем сварки или спайки экранов или применения специальных перемычек, подобных изображенным на фиг. 40.

Перемычка, изображенная на фиг. 40,*а*, изготовлена из сплющенной панцырной оплетки, применяющейся для экранирования проводов. Перемычка фиг. 40,*б* изготовлена из гибкого многожильного медного провода, на концах которого припаяны наконечники. Действие перемычки будет тем лучше, чем меньше ее сопротивление для токов высокой частоты, т. е. чем меньше ее индуктивность и активное сопротивление, последние же будут тем меньше, чем короче и толще провод перемычки.

Перемычки из сплющенной панцырной оплетки обеспечивают обычно наименьшее сопротивление и им следует

отдавать предпочтение. Длина перемычек обычно делается порядка 10—20 *см*.

При экранировке электропроводки необходимо, чтобы экранирующая оболочка была надежно соединена с корпусом источника радиопомех. Если металлическая масса корпуса источника радиопомех велика или он смонтирован на металлическом основании, то экранирующую оболочку проводов необходимо соединить с массой источника или с ме-



Фиг. 40. Вид перемычек для замыкания экранов.

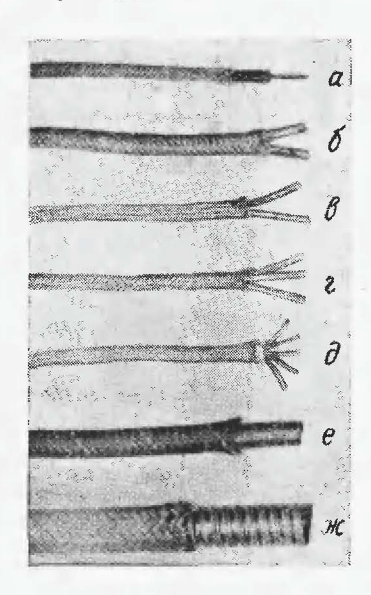
Фиг. 41. Соединение экранирующей оболочки провода с корпусом фильтра или источника радиопомех.
1—зажим провода; 2—хомут, зажимающий экранирующую оболочку провода; 3—экранирующая провод панцырная оплетка.

таллическим основанием в нескольких местах посредством прижимающих металлических скоб. Если одной скобой к массе прижимаются сразу несколько экранированных проводов, то следует позаботиться о том, чтобы обеспечивался надежный контакт всей системы с корпусом и скольжение оболочек проводов относительно корпуса было бы исключено.

Для диапазона частот 0,15—20 *мгц* прижимные скобы обычно устанавливаются через каждые 20—25 *см* вдоль экранированных проводов.

На фиг. 41 показана конструкция надежного соединения экранирующей оболочки провода с корпусом источника помех или фильтра.

В качестве экранов для проводов в практике подавления радиопомех широкое распространение получила панцырная оплетка, несмотря на относительно невысокие ее экранирующие свойства. Основные ее преимущества — гибкость и возможность помещения в одну и ту же оболочку-экран как проводов различного диаметра, так и различного числа проводов.



Фиг. 42. Внешний вид проводов, экранированных панцырной оплеткой (*а*, *б*, *в*, *г*, *д*) и шлангов для экранирования проводов, оплетенных панцырной оплеткой (*е*, *ж*).

На фиг. 42,*а*, *б*, *в*, *г*, *д* изображены провода, экранированные посредством панцырной оплетки.

При экранировании проводов с высокими напряжениями радиопомех (например, проводов высокого напряжения электрических систем зажигания двигателей внутреннего сгорания автомобилей, самолетов, зарядных станций и других) применяется более совершенная экранировка проводов путем помещения их в экранирующие шланги. На фиг. 42, приведены два вида таких шлангов: *е* — типа «гусиное горло», представляющий собой свитый из алюминиевой ленты шланг, оплетенный поверх панцырной оплеткой; *ж* — шланг, представляющий собой медную цельнотянутую гофрированную трубку, также оплетенную панцырной оплеткой.

Оплетенная гофрированная трубка является наилучшим экраном вследствие своей полной герметичности.

ИЗМЕРЕНИЕ РАДИОПОМЕХ

Выше мы уже отмечали, что для успешной борьбы с радиопомехами потребовалось прежде всего создать измерительную технику, позволяющую объективно оценивать степень мешающего действия того или иного источника радиопомех.

Вначале это мешающее действие определялось прослушиванием радиопомех на радиоприемник, расположенный вместе с антенной вблизи от источника, однако такой метод был весьма приближенным, так как зависел от личных данных прослушивающего оператора.

Несколько позже стали применяться калиброванные по чувствительности радиоприемники, снабженные определенным типом антенны и измерителем выхода. Мешающее действие при этом оценивалось величиной напряжения радиопомех, наводимых в антенне. Это повысило точность измерений, но все же не давало необходимых результатов.

Позже советские ученые установили, что электромагнитная связь между проводкой источника помех и антенной обычно бывает сильнее, чем связь между самим источником и антенной[1]. Это привело к тому, что определять помехозащищенность стали по измерениям не в антенне, а в отходящих от источника помех проводах. Такой способ показал вполне достаточную точность и повторяемость результатов измерений.

Чтобы производимые в различных местах измерения были одинаковыми, потребовалось создать измерительные приборы, обладающие вполне определенными характеристиками. В принципе они представляют собой высокочувствительные, избирательные микровольтметры с усредняющим, так же как и человеческое ухо, выходным прибором.

Наша промышленность выпускает для этой цели измерители помех типа ИП-12 и ИП-12М. Они обладают плавно перекрываемым диапазоном частот в пределах 0,16 — 20 *мггц* и полосой пропускания по высокой частоте, равной 9 *кгц*. Измерители снабжены выходным индикаторным прибором, градуированным в микровольтах подаваемого на вход напряжения. Приборы позволяют измерять на различных частотах напряжения радиопомех от 1 до 10^5 *мкв*, т. е. в пределах, в которых почти всегда лежат уровни помех, создаваемых различными источниками в проводах и в антенне.

Блок-схема измерителя радиопомех приведена на фиг. 43. Принцип ее действия состоит в следующем: при измерении напряжения помех на зажимах источника это напряжение подается на вход прибора по специальному фидеру, под-

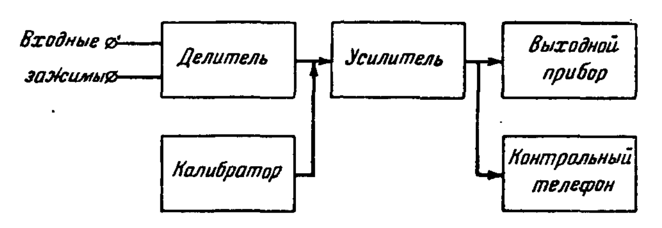
---

[1] Источник помех в большинстве случаев закрыт каким-либо металлическим корпусом, либо мал по величине и представляет собой плохо излучающую систему, поэтому основное излучение определяется подключенной к нему электропроводкой.

ключаемому к одному из проводов и к корпусу источника радиопомех.

Посредством калиброванного высокочастотного делителя мешающее напряжение доводится до значения, которое после усиления обеспечивает отклонение стрелки выходного прибора в пределах его шкалы.

В существующих измерителях радиопомех шкала выходного прибора градуирована в микровольтах, соответствующих входному напряжению радиопомех; поэтому усиление измерителя регулируют так, чтобы оно для данной частоты измерений всегда оставалось неизменным. Это достигается установкой необходимого усиления по калибратору (шумовой диод, включаемый на вход усилителя) перед из-



Фиг. 43. Блок-схема измерителя радиопомех.

мерением на какой-либо частоте. Напряжение шумов этого диода, обладающее высокой стабильностью, и используется в качестве калибровочного.

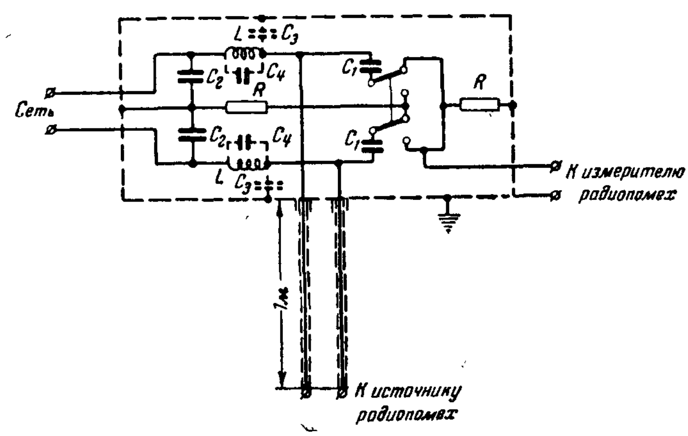
Для измерений поля радиопомех применяется однометровая штыревая антенна телескопического типа, располагаемая при измерениях (в соответствии с требованиями норм предельно-допустимых радиопомех и метода их измерений) на определенных, зависящих от типа источника помех расстояниях (1,10 и 100 *м*).

Помехи в проводах измеряются со специальным эквивалентом электрической сети, который обеспечивает постоянную нагрузку источника по высокой частоте и представляет собой безиндукционное и безъемкостное сопротивление в 150 *ом*.

Схема эквивалента сети приведена на фиг. 44. Переключатель *П* предназначен для переключения измерителя радиопомех с одного на другой провод их источника.

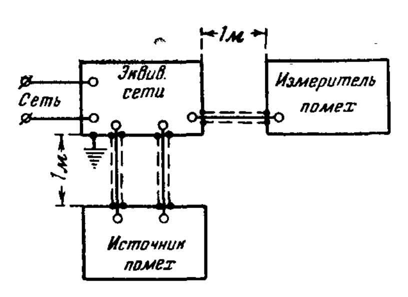
Этим же переключателем подключается сопротивление эквивалента сети $R = 150$ *ом* к проводу, от которого измеритель отключен. Таким образом, каждый из проводов оказывается нагруженным по высокой частоте на сопротивле-

ние 150 *ом*. Конденсаторы $C_1 = 0,1$ *мкф* являются разделительными, закрывающими доступ в измеритель радиопомех тока, питающего их источник, но свободно пропускающими высокочастотные токи радиопомех.



Фиг. 44. Схема эквивалента электрической сети источника радиопомех.

Катушки индуктивности L совместно с конденсаторами C_4 и C_3 представляют собой высокочастотный фильтр, не пропускающий в измеритель токи посторонних помех из электрической сети. Катушки должны обладать достаточно высоким сопротивлением в диапазоне частот измерений (не менее 1 000 *ом*), чтобы не шунтировать сопротивления эквивалента сети R, и достаточно малым сопротивлением для основного тока источника помех с тем, чтобы на них не получалось больших падений напряжения. Емкости C_3 и C_4 в сумме должны не превышать 100 *мкмкф*.

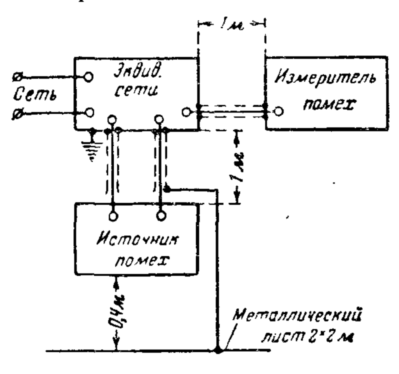


Фиг. 45. Схема подключения эквивалента электрической сети источника радиопомех.

При измерениях напряжений радиопомех от источников, имеющих свой металический корпус, схема измерений должна быть выполнена в соответствии с фиг. 45, причем все экранирующие оболочки соединительных проводов должны быть надежно соединены с корпусами: корпус измерителя помех через оболочки — с корпусом эквивалента

сети, а корпус эквивалента сети — с корпусом источника радиопомех.

При измерениях радиопомех от источников, не имеющих собственного корпуса, собирается схема, изображенная на фиг. 46. Источник помех в этом случае устанавливается изолированно на высоте 40 *см* над металлическим листом размером 2 × 2 *м*. Вместо этого его можно поместить в экранированную камеру так, чтобы между ним и одной из ее стенок образовалось расстояние 0,4 *м*. Расстояние от других стенок должно быть по крайней мере вдвое больше.



Фиг. 46. Схема подключения эквивалента электрической сети при измерении напряжений радиопомех от бескорпусных электроустройств.

При измерениях необходимо соединить корпус эквивалента сети с металлическим листом или с корпусом измерительной камеры.

Теперь кратко остановимся на схеме измерителя помех типа ИП-12М.

ИЗМЕРИТЕЛЬ ПОМЕХ ТИПА ИП-12М

Измеритель помех типа ИП-12М по своему классу является лабораторным прибором и представляет собой высокочастотный селективный микровольтметр, предназначенный для измерения напряжений помех в пределах от 1 до 100 000 *мкв* в диапазоне частот от 0,16 до 20 *мгги* с небольшим провалом, лежащим между частотами 0,39 — 0,52 *мггц*.

Прибор имеет несимметричный вход, позволяя производить измерения несимметричных напряжений радиопомех и напряжений помех в антеннах радиоприемных устройств, и снабжен однометровой штыревой антенной, предназначенной для измерения поля радиопомех и напряженности поля радиостанций.

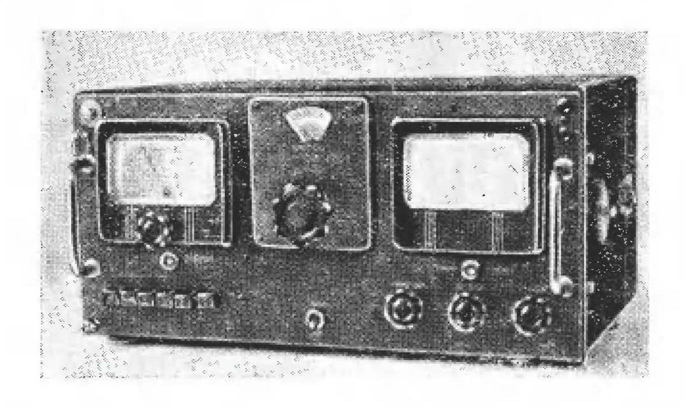
Внешний вид измерителя показан на фиг. 47.

Принципиальная схема измерителя (см. вклейку в конце книги) содержит следующие блоки:

1. Емкостный делитель напряжения, обеспечивающий деление входного напряжения в 10, 100 и 1 000 раз при измерении напряжений, превышающих 100 *мкв*. Напряжения

от 1 до 100 *мкв* отсчитываются непосредственно на шкале выходного индикаторного прибора.

2. Внутренний калибратор — шумовой диод, создающий за счет дробового эффекта на своей нагрузке высокочастотное калибровочное напряжение шумов, покрывающее весь радиочастотный спектр и обеспечивающее калибровку на любой из частот. При нажатии кнопки «калибровка» вход измерителя отключается от входного контура и закорачивается на корпус, что исключает возможность проникновения во входной контур постороннего напряжения. При



Фиг. 47. Внешний вид измерителя радиопомех типа ИП-12М.

этом на шумовой диод, подключенный параллельно входному контуру, подается анодное и накальное напряжения. Сопротивление *21* в анодной цепи шумового диода и конденсатор *14* являются элементами развязки.

Проверка нормального тока шумового диода производится при включении тумблера *154* в положение «установка» при нажатой кнопке «калибровка». При этом индикаторный прибор *149* подключается к шунту *158*, включенному в анодную цепь шумового диода. Установка анодного тока шумового диода производится изменением напряжения его накала при помощи реостата *155*.

Значение калибровочного напряжения, по которому производится установка усиления, нанесено на шкалы специального калибровочного диска, вращающегося одновременно с ротором конденсаторного блока. По этим значениям устанавливается нормальное усиление измерителя по-

средством потенциометра *51*, изменяющего напряжение на экранирующей сетке лампы усилителя высокой частоты.

3. Усилитель, представляющий собой супергетеродин с одним каскадом усиления высокой частоты (лампа *25* типа 2К2М), преобразователем (лампа типа СБ-242) и двухкаскадным усилителем промежуточной частоты (лампы *90* и *100* типа 2К2М), настроенным на частоту 460 *кгц*.

Измеритель имеет три настраивающихся контура: входной, контур усилителя высокой частоты и контур гетеродина.

Система контуров по высокой и промежуточной частоте обеспечивает общую ширину полосы пропускания измерителя в пределах 8—10 *кгц*.

4. Детектор и выходной ламповый вольтметр. В качестве диодного детектора в ИП-12М используется лампа *120* типа 2К2М, управляющая сетка которой служит анодом диода. Постоянные времени детекторной цепи при измерении помех равны: заряда 10 и разряда 600 *мсек*. В этом случае переключатель «помехи — станции» устанавливается в положение «помехи» и нагрузкой детектора являются сопротивления *118* и *119*, суммарная величина которых равна 5,5 *мгом*, шунтированные конденсатором *113* емкостью 0,1 *мкф*.

При установке переключателя *121* в положение «станции» конденсатор *113* отключается, и постоянные времени детекторной цепи становятся близкими к постоянным времени детектора обычных радиоприемников.

Конденсаторы *110* и *111* отфильтровывают токи промежуточной частоты, не допуская их в цепь нагрузки детектора.

Постоянная составляющая выпрямленного напряжения с последовательно включенных сопротивлений нагрузки *118* и *119* подается на сетку лампового вольтметра (лампа *145* типа 2К2М).

Выходной ламповый вольтметр собран по мостовой схеме, плечами которого являются внутреннее сопротивление лампы *145* усилителя постоянного тока и сопротивления *142, 150, 151* и *152*; на одну из диагоналей моста подается анодное напряжение, в другую включен выходной индикаторный прибор *149*. Логарифмическая шкала прибора с градуировкой от 1 до 100 *мкв* получается за счет нелинейности характеристики лампы лампового вольтметра.

Установка нуля лампового вольтметра производится изменением напряжения на экранирующей сетке лампы *145*

потенциометром *139*. Регулировка шкалы индикаторного прибора производится потенциометром *152* в мостовой схеме и переменным сопротивлением *153*, включенным последовательно с индикаторным прибором.

5. Для прослушивания помех в процессе измерений в измерителе имеется самостоятельный звуковой канал, дающий возможность прослушивания помехи независимо от положения переключателя «помехи — станции». Для этой цели используется лампа *120*, работающая в режиме анодного детектирования, причем анодом детектора служит экранирующая сетка.

С сопротивления анодной нагрузки *124* напряжение звуковой частоты подается на сетку лампы *131* (типа 2К2М) усилителя низкой частоты. В целях экономии питания эта лампа одновременно является балластной нагрузкой, компенсирующей мощность, потребляемую шумовым диодом при его включении. Это осуществляется путем выключения лампы звукового контроля при включении шумового диода в момент калибровки.

6. Прибор снабжен двумя приставками питания — батарейной и сетевой, снабженной электронным стабилизатором напряжения, на схеме и устройстве которых мы здесь не останавливаемся.

ПОДАВЛЕНИЕ РАДИОПОМЕХ ОТ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН

Коллекторные электродвигатели и генераторы являются весьма распространенными и интенсивными источниками радиопомех и поэтому необходимость подавления создаваемых ими помех в практике встречается наиболее часто.

Возникновение высокочастотных токов радиопомех здесь объясняется резкими изменениями переходного сопротивления, а следовательно, и тока в цепи щетки, при переходе щетки с одной пластины коллектора на другую. Уровень создаваемых помех может существенно увеличиваться при механических и электрических неисправностях машины. К механическим неисправностям следует отнести плохую центровку вала машины, нарушение крепления ходовых частей и плохую пригонку щеток к коллектору.

К электрическим — нарушение изоляции, неплотные контакты, повышенное искрение.

Помехи, создаваемые электрическими машинами, наиболее интенсивны на низких частотах радиодиапазона и падают с повышением частоты по гиперболическому закону.

Звуковой эффект, создаваемый помехами от электрических машин в громкоговорителе, выражается равномерным шумом, иногда переходящим в своеобразный вой.

Прежде чем браться за подавление радиопомех, необходимо устранить все имеющиеся неисправности в машине. В тех случаях, когда это возможно, следует рекомендовать замену коллекторной машины машиной переменного тока.

Одним из эффективных методов подавления радиопомех в электрических машинах последовательного и смешанного возбуждения является симметрирование обмоток возбуждения.

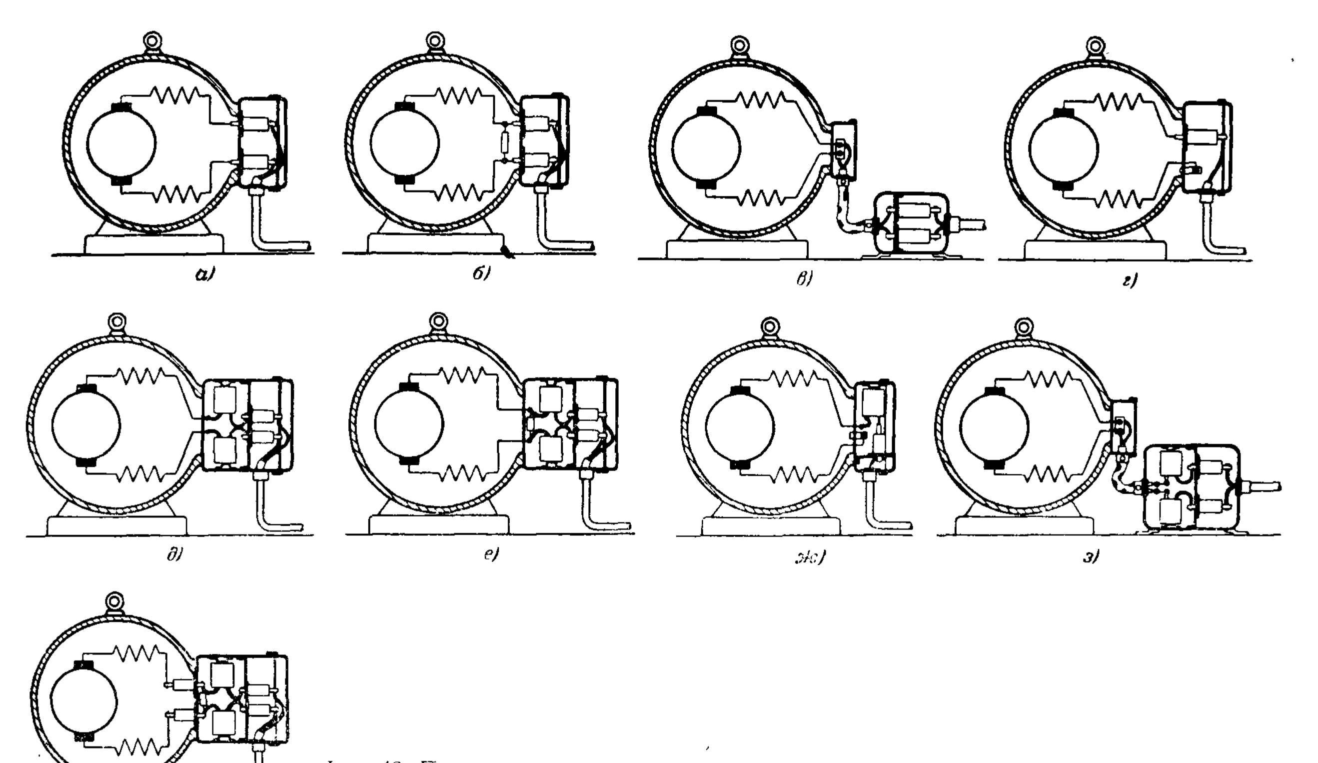
Рассмотрим некоторые схемы подавления радиопомех в симметрированных машинах последовательного возбуждения. Вообще говоря, эти схемы будут пригодны так же для машин с параллельным и смешанным возбуждением, с тем отличием, что для последних потребуются менее эффективные схемы фильтров, включаемых в цепи возбуждения.

Зачастую для подавления помех в цепи возбуждения можно ограничиться применением конденсатора, шунтирующего фильтруемый провод на корпус машины.

На фиг. 48,*а* приведены схема и конструктивное ее исполнение для подавления помех, создаваемых симметрированной машиной последовательного возбуждения посредством проходных кондесаторов. Емкостной фильтр установлен непосредственно на корпусе машины, что является наилучшим вариантом. Иногда возникает необходимость во включении дополнительного конденсатора между зажимами машины. Это делается в соответствии со схемой фиг. 48,*б*. Когда установить фильтр на корпусе машины оказывается неудобным, применяется выносной фильтр (фиг. 48,*в*).

Для получения большей эффективности подавления радиопомех нужно стремиться расположить фильтр как можно ближе к машине, провода, идущие от машины к фильтру, экранировать и сделать их как можно короче, так как экранирующая оболочка проводов является обратным проводом для высокочастотных токов помех.

Когда машина недостаточно экранирована, то фильтр следует отнести на расстояние, где поле помех, окружающее машину, не сможет воздействовать на проводники за фильтром, а лучше всего, когда это удобно, не относя фильтр, заэкранировать отходящие от него провода на некотором расстоянии. Во всех случаях желательно, чтобы машина и фильтр были установлены на общем металлическом



Фиг. 48. Принципиально-конструктивное исполнение схем подавления радиопомех в коллекторных электрических машинах.

основании. Для машин, у которых один из зажимов соединен с корпусом, фильтрация посредством проходного конденсатора должна осуществляться в соответствии со схемой, приведенной на фиг. 48,*г*. На фиг. 48,*д* приведена более эффективная система подавления помех Г-образным индуктивно-емкостным фильтром с индуктивным входом. Часто повышение эффективности схемы фиг. 48,*д* достигается при применении дополнительного шунтирования зажимов машины конденсатором (фиг. 48,*е*).

На фиг. 48,*ж* и 48,*з* показаны еще две схемы подавления радиопомех посредством индуктивно-емкостного Г-образного фильтра с индуктивным входом. Первая пригодна для случая, когда один из зажимов машины соединен с ее корпусом, а вторая, когда фильтр устанавливается не на корпусе машины. Все соображения о выполнении этих схем аналогичны проведенным для случая подавления помех только проходными конденсаторами.

Во всех схемах фиг. 48,*а*—*з* для обеспечения их эффективного действия на коротких и ультракоротких волнах применено экранирование входных и выходных зажимов конденсаторов, а также экранирование катушек, осуществленное путем помещения их в металлический кожух, однако, оно может быть выполнено и любым другим способом, например, путем устройства экранирующих перегородок.

Наиболее эффективной схемой подавления радиопомех является П-образная схема фильтра, приведенная на фиг. 48,*и*.

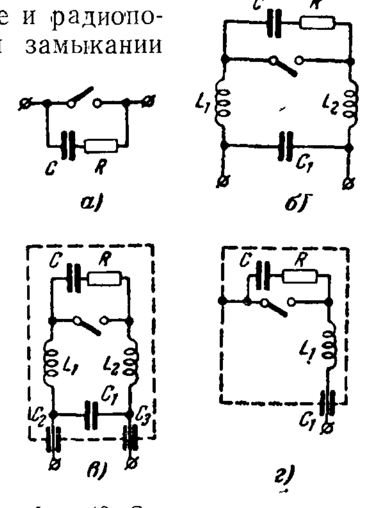
ПОДАВЛЕНИЕ РАДИОПОМЕХ ОТ РАЗЛИЧНОГО РОДА ПРЕРЫВАТЕЛЕЙ, ВЫКЛЮЧАТЕЛЕЙ И КОНТАКТОВ

Подавление радиопомех от различного рода прерывателей, выключателей и контактов производится обычно лишь в тех случаях, когда прерывания тока происходят довольно часто (например, 5 щелчков в одну минуту или 10 сек. работы прерывателя в час и более).

Схемы подавления помех от контактных электроустройств приведены на фиг. 49,*а, б, в, г* в порядке повышения их эффективности. Простейшей схемой является схема *а* подавления помех посредством искрогасителя. Искрогаситель представляет собой последовательно соединенные конденсатор и активное сопротивление и подключается параллельно рвущемуся контакту. Он служит средством устранения искры при прерывании контакта, что уменьшает износ последнего, и одновременно снижает радиопомехи.

Действие его заключается в том, что в момент размыкания контакта искрогаситель пропускает через себя ток переходного режима, уменьшая искру. При замыкании контакта заряженный конденсатор искрогасителя разряжается через контакт.

Для того чтобы разрядный ток конденсатора не создавал искры и не портил контакты, последовательно с конденсатором включено сопротивление. Это сопротивление уменьшает также и радиопомехи, которые возникают при замыкании контакта. Для того чтобы получить наибольшее подавление радиопомех посредством искрогасителя, его необходимо устанавливать в непосредственной близости от контакта и соединять с ним наикратчайшими проводниками.



Фиг. 49. Схемы подавления радиопомех, создаваемых контактными электроустройствами.

Схема *б* более эффективна: здесь дополнительно применен симметрирующий схему фильтр. Основным требованием к конструкции и установке этого фильтра являются возможно меньшие размеры и близкое расположение к контакту. Катушки фильтра должны быть строго идентичны и выбраны, исходя из условия: $C_1 \cdot L \geqslant 10$ при $L = L_1 + L_2$ и $\omega L \geqslant 5 \div 10 Z_u$, где Z_u — полное сопротивление искрогасителя.

Включение катушек большей индуктивности не рекомендуется, так как это может ухудшить подавление помех в ряде участков диапазона. Во всех случаях желательно в этой схеме применять большую емкость за счет уменьшения индуктивности, так как это в большей степени будет выравнивать противоположные по фазе несимметричные напряжения каждого из проводов относительно земли, и последние будут наводить в антенну взаимно компенсирующиеся радиопомехи.

Еще более совершенной схемой подавления радиопомех от контактных устройств является схема *в*. Здесь в дополнение к искрогасителю применен двухпроводный Г-образ-

ный индуктивно-емкостный фильтр, выполненный на проходных конденсаторах. Кроме того, оба провода у выходных концов катушек замкнуты конденсатором C_1.

Общая емкость, включаемая между проводами $C_{общ} = C_1 + \frac{C_2 \cdot C_3}{C_2 + C_3}$ при условии равенства $C_1 = C_2$, должна быть такой, чтобы при ее умножении на суммарную индуктивность $L_{сум} = L_1 + L_2$ катушек при условии $L_1 = L_2$ и $\omega L_{сум} = 5-10\, Z_и$ соблюдалось условие $L_{сум} \cdot C_{общ} \geqslant 10$. При этом с целью повышения эффективности подавления радиопомех целесообразно увеличивать емкость конденсаторов C_1, C_2 и C_3 за счет уменьшения индуктивности катушек.

В случае если посредством однозвенного Г-образного фильтра подавить помехи не удается, следует перейти к двухзвенной схеме. Часто удается подавить помехи при однозвенной схеме, применив для этой цели катушки с собственным резонансом, расположенным на самой низкой частоте защищаемого диапазона. В этом случае на всем защищаемом диапазоне частот катушка представляет собой емкостное сопротивление, в связи с чем вредных резонансов в схеме фильтрации возникнуть не может, так как внутреннее несимметричное сопротивление контакта имеет тоже емкостный характер и определяется емкостью его относительно экрана. Чем полнее экранирован контакт при применении этой схемы, тем больше будет эффект подавления радиопомех.

Когда один из зажимов контакта соединен с корпусом или экраном, то может быть рекомендована схема, приведенная на фиг. 49,*г*. Здесь также применен искрогаситель и однопроводный однозвенный Г-образный индуктивно-емкостный фильтр.

В отличие от всех предыдущих схем величины индуктивности катушки и емкости конденсатора в данной схеме могут выбираться в зависимости от требуемого подавления радиопомех по графику фиг. 29 и 30.

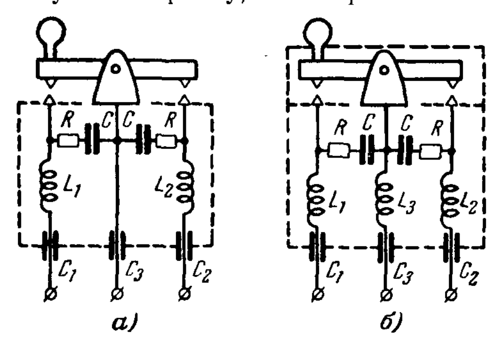
Применение искрогасителей во всех рассмотренных схемах не всегда является необходимым, что обычно определяется экспериментально. Величины C и R искрогасителей подбираются опытным путем и чаще всего заключаются в пределах: $C = 0{,}025 - 2$ *мкф*; $R = 5 - 100$ *ом*.

ПОДАВЛЕНИЕ РАДИОПОМЕХ, СОЗДАВАЕМЫХ ЭЛЕМЕНТАМИ ТЕЛЕГРАФНОЙ И ТЕЛЕФОННОЙ АППАРАТУРЫ

Наиболее распространенными источниками радиопомех в телефонно-телеграфной аппаратуре являются телеграфные ключи, реле, звонки, номеронабиратели, токовращатели и т. д.

Для того чтобы подавить радиопомехи, создаваемые телеграфным ключом, прежде всего необходимо, чтобы он имел свой собственный корпус — металлическое основание в виде пластины или лучше коробку, в которой можно разместить фильтр.

Если ключ смонтирован на деревянном, гетинаксовом или другом изолирующем основании, то он должен быть снабжен искусственным проводящим корпусом (металлическая пластина или коробка, на которой он должен быть установлен).



Фиг. 50. Схема подавления радиопомех, создаваемых телеграфным ключом.

Две схемы подавления радиопомех, создаваемых телеграфным ключом, приведены на фиг. 50,*а* и *б*.

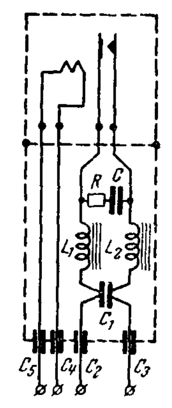
Схема *а* применяется, когда допустимо замыкание коромысла ключа на корпус конденсатором большой емкости порядка 0,25—1 *мкф* (конденсатор C_3). Благодаря этому коромысло, соединяясь по высокой частоте с корпусом, не излучает радиопомех, и следовательно, не требует для себя экрана.

Величины индуктивностей L_1 и L_2 и конденсаторов C_1 и C_2 выбираются, исходя из требуемой эффективности, но при этом должно выполняться условие: $L_1 = L_2$, $C_1 = C_2$ и $C_1 \cdot L_1 \geqslant 10$; $C_2 \cdot L_2 \geqslant 10$. Искрогаситель подбирается опытным путем ($C = 0{,}025$—$0{,}05$ *мкф* и $R = 50$—100 *ом*). Конденсаторы C_1 и C_2 берут по возможности меньшей емкости порядка 0,025—0,05 *мкф*, добиваясь требуемого подавления радиопомех увеличением индуктивностей L_1 и L_2 (порядка 6—10 *мгн*).

Схема *а* также весьма эффективна в тех случаях, когда ключ является частью какого-то устройства, в котором

работают другие источники радиопомех, например реле, причем последние либо непосредственно соединены с ключом, либо связаны с ним посредством индуктивной или емкостной связи проводов, а фильтрация всех источников производится комплексно на выходе устройства. В этом случае конденсатор C_3 и фильтр будут не пускать радиопомехи к коромыслу и к контактам ключа, и последние не смогут излучаться элементами ключа.

Часто в таких устройствах применяется лишь конденсатор C_3, так как помехи, приходящие из устройства к контактам ключа, вследствие малой поверхности этих контактов излучаются весьма незначительно. В тех случаях, когда коромысло может быть соединено с корпусом непосредственно, конденсатор C_3 не нужен.



Фиг. 51. Схема подавления радиопомех в телефонном реле.

Схема *б* применяется, когда коромысло не может быть замкнуто на корпус. В связи с этим ключ будет излучать радиопомехи и избежать их можно только экранировкой коромысла. Искрогасители подбираются опытным путем и имеют порядок величин, указанный для схемы фиг. 50,*а*. Конденсаторы и катушки, выбираемые исходя из требуемой эффективности подавления радиопомех, должны быть соответственно одинаковы, $L_1 = L_2 = L_3$, $C_1 = C_2 = C_3$, и должны удовлетворять условию: $C \cdot L \geqslant 10$.

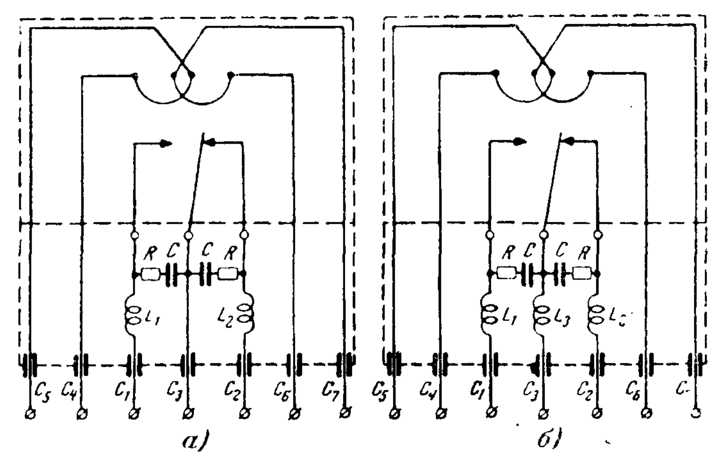
Если эффективность подавления радиопомех окажется при этом недостаточной, применяют второе звено фильтра в каждом проводе, причем индуктивность катушки при применении тех же конденсаторов увеличивается до получения требуемого подавления радиопомех.

На фиг. 51 приведена схема подавления радиопомех в телефонном реле; все соображения о выборе ее элементов аналогичны приведенным выше для схемы фиг. 49,*в*. Здесь следует лишь указать, что само реле должно быть экранировано от фильтра, а его обмотка шунтирована на корпус проходными конденсаторами, необходимая емкость которых обычно не превышает 0,025—0,05 *мкф*.

Желательно, чтобы корпус реле и фильтра был единым, если же это неудобно, то корпус фильтра должен быть надежно соединен с корпусом реле посредством экранирующей оболочки проводов, идущих от реле к фильтру.

Схемы подавления радиопомех, создаваемых телеграфным поляризованным реле, приведены на фиг. 52,*а* и *б*. Они в принципе не отличаются от схем, рассмотренных нами выше для телеграфного ключа (фиг. 50,*а* и *б*). Выбор элементов фильтра здесь производится, исходя из тех же соображений. Дополнительным является фильтрация проходными конденсаторами концов обмоток реле. Экранировка реле и фильтра от реле обязательна.

Схема токовращателя с фильтрами подавления радиопомех приведена на фиг. 53. Элементами фильтрации здесь являются катушки L и конденсаторы C, составляющие



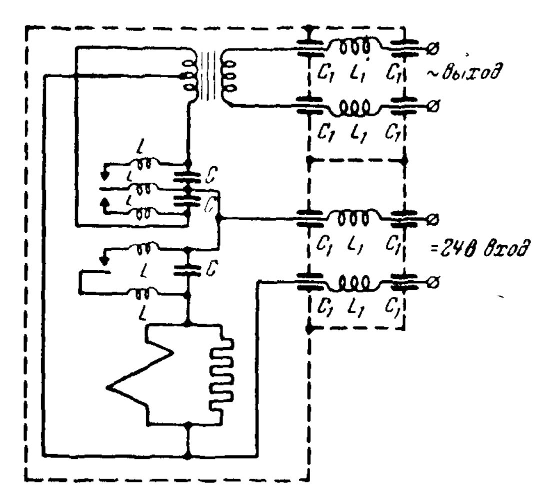
Фиг. 52. Схемы подавления радиопомех, создаваемых телеграфным поляризованным реле.

фильтр, симметрирующий контакты реле, а также входной и выходной П-образные индуктивно-емкостные фильтры.

Величины индуктивности катушек L при выбранной емкости C определяются, исходя из условия: $2L \cdot C = 10$. Катушки фильтров подбираются в зависимости от требуемой эффективности подавления радиопомех, но при соблюдении условия: $L_1 \cdot \frac{C_1}{2} \geqslant 10$. Фильтры должны быть тщательно экранированы от схемы токовращателя, которая также должна быть помещена в экран.

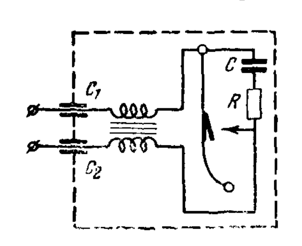
Подавление радиопомех, создаваемых электрическим звонком, может быть произведено по схеме фиг. 54. Для этой цели применено экранирование звонка, симметрирование его обмоток, искрогашение и фильтрация проходными конденсаторами. Хорошие результаты получаются, если

$C_1 = C_2 = 0{,}25$ *мкф*; $C = 0{,}025$ *мкф*; $R = 50$ *ом*. В случае, если проводники от звонка до источника питания имеют длину менее 5 *м* и имеется резкое повышение радиопомех



Фиг. 53. Схема подавления радиопомех, создаваемых токовращателем.

на частотах, близких к 0,15 *мггц*, следует дополнить фильтр включением в каждый провод между зажимами и проходными конденсаторами катушек по 40 *мгн*.



Фиг. 54. Схема подавления радиопомех, создаваемых электрическим звонком.

В тех случаях, когда к фильтрации звонка предъявляются невысокие требования (обычно в случаях, когда проводка, отходящая от звонка, экранирована) в схеме фиг. 54 можно оставить лишь искрогаситель при обязательной экранировке звонка.

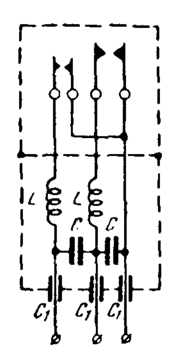
В ряде случаев, особенно когда рабочее напряжение звонка мало, возможно в рассмотренных схемах исключить искрогаситель, и подавление радиопомех будет осуществляться только за счет симметрирования обмоток звонка.

Схема подавления радиопомех в телефонных номеронабирателях приведена на фиг. 55. Порядок величин индуктивностей и емкостей можно рекомендовать следующий: $L = 6$—10 *мгн*; $C = 0{,}025$ *мкф*; $C_1 = 0{,}025$—0,05 *мкф*.

Номеронабиратель и фильтр должны быть тщательно экранированы.

Примерная схема подавления радиопомех в стартстопных телеграфных аппаратах приведена на фиг. 56.

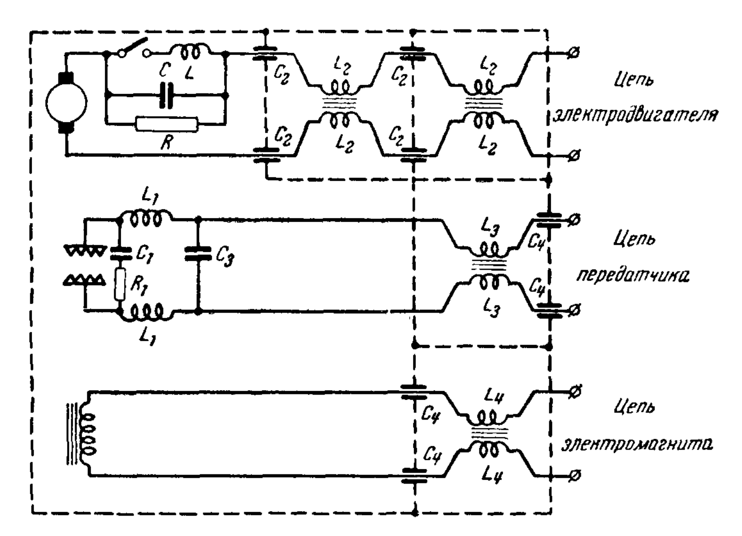
В цепи двигателя аппарата радиопомехи создаются двумя источниками: самим двигателем и электроконтактным регулятором. С целью искрогашения параллельно контактам электроконтактного регулятора обычно подключаются конденсатор C и сопротивление R. Вследствие резонанса, возникающего между емкостью конденсатора C и индуктивностью проводников, подключающих его к контакту, радиопомехи сильно возрастают.



Фиг. 55. Схема подавления радиопомех, создаваемых номеронабирателем.

В существующих конструкциях аппаратов этот резонанс обычно расположен на частотах порядка 0,3—0,15 *мггц*. Для смещения его в область более низких частот применяется катушка L, величина индуктивности которой определяется из условия: $C \cdot L = 10$.

Кроме катушки L для фильтрации помех в цепи двигателя, необходимо применять двухзвенный индуктивно-



Фиг. 56. Схема подавления радиопомех в стартстопных телеграфных аппаратах.

емкостный Г-образный фильтр с емкостным входом. Емкостный вход у фильтра необходим потому, что внутреннее несимметричное сопротивление цепи двигателя аппарата также имеет емкостный характер.

Двухзвенная схема фильтра с индуктивным выходом применяется в связи с тем, что при работе двигателя от сети переменного тока величина емкости на корпус ограничивается требованиями техники безопасности и не должна для каждого провода превышать 0,05—0,1 *мкф*, что приводит к необходимости использовать в фильтре конденсаторы относительно малой емкости — порядка 0,025—0,05 *мкф*.

Индуктивность L_2 берется порядка 1,5—2 *мгн*, по причине необходимости обеспечить, с одной стороны, широкодиапазонность фильтра, с другой — малые габариты и малое сопротивление катушек рабочему току, для чего последние выполняются связанными магнитно на общем стальном сердечнике и включаются так, что магнитные потоки, создаваемые рабочим током, оказываются направленными навстречу, уменьшая общую индуктивность катушек для рабочего тока.

Использование малых емкостей и относительно небольших индуктивностей требует для получения необходимой эффективности подавления помех применения двухзвенной схемы фильтра с индуктивным выходом. Индуктивный выход фильтра позволяет исключить появление резонанса выходных емкостей фильтра с проводниками, идущими к батарее, питающей двигатель, если последние имеют малую длину.

В цепи передатчика применяется искрогаситель C_1R_1 и фильтр, симметрирующий его контакты. Индуктивность катушек выбирается, исходя из условия $2L_1 \cdot C_3 = 10$.

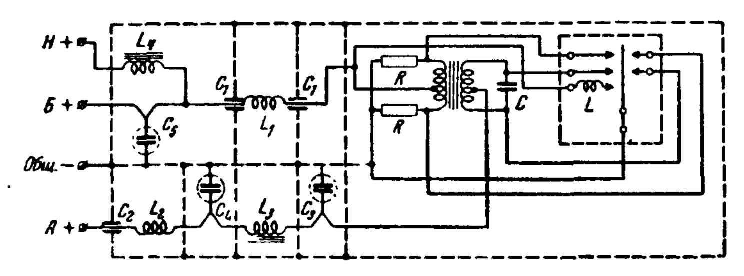
В связи с тем, что несимметричное внутреннее сопротивление цепи передатчика является емкостным, катушки фильтра L_3 выбираются с индуктивностью порядка 50—100 *мгн*, что обеспечивает емкостный характер их сопротивления на всем защищаемом диапазоне частот. Во избежание искажений формы телеграфного импульса конденсаторы фильтра C_4 должны быть по возможности меньшей емкости, обычно порядка 0,025—0,05 *мкф*.

Необходимость подавления радиопомех в цепи электромагнита возникает лишь в тех случаях, когда провода, идущие от электромагнита, находятся в поле помех, создаваемых аппаратом, и не могут быть экранированы по всей

длине (например, в месте, где они с другими проводами, несущими помехи, проходят через переходную колодку). В этом случае включается фильтр. Индуктивность L_4 выбирается, исходя из условия $^1/_2\, C_4 \cdot L_4 \geqslant 10$.

ПОДАВЛЕНИЕ РАДИОПОМЕХ, СОЗДАВАЕМЫХ ВИБРОПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯМИ

Типичная схема вибропреобразователя с системой подавления радиопомех представлена на фиг. 57. В вибропреобразователях используются два вида фильтров, а именно: фильтры, сглаживающие пульсации, и фильтры подавления радиопомех. Но путем рационального монтажа и экранировки можно добиться того, что фильтры, предназначенные для сглаживания пульсаций, будут давать дополнительное подавление радиопомех, позволяя значительно упростить фильтры подавления радиопомех.



Фиг. 57. Схема подавления радиопомех, создаваемых вибропреобразователем.

В рассматриваемой схеме в цепи высокого напряжения (анодная цепь ламп) применен двухзвенный П-образный фильтр. Часть его, которая предназначена для сглаживания пульсаций, составлена из двух электролитических конденсаторов C_3 и C_4 и низкочастотной катушки индуктивности со стальным сердечником. Высокочастотная часть фильтра составлена из катушки L_2 и проходного конденсатора C_2. В цепь низкого напряжения (цепь накала ламп) включен двухзвенный Г-образный фильтр с емкостным входом. Первое звено фильтра — высокочастотное — составлено из проходных конденсаторов C_1 и катушки индуктивности L_1.

Второе звено — низкочастотное; в него входит электролитический конденсатор C_5 и катушка индуктивности со стальным сердечником L_4. Здесь мы видим, что в схеме

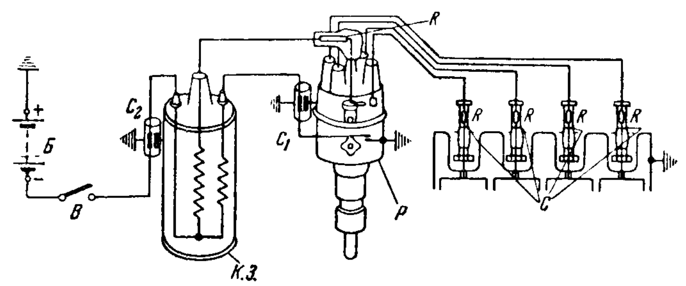
применено параллельное включение проходного C_1 и электролитического C_5 конденсаторов. При выполнении такого соединения необходимо, чтобы соединительный провод, идущий от проходного к электролитическому конденсатору, был бы по возможности коротким, иначе в цепи этих двух конденсаторов может появиться вредный резонанс, что значительно ухудшает подавление радиопомех.

С целью повышения эффективности подавления радиопомех электролитическими конденсаторами необходимо, как это показано на схеме, подводить фильтруемый провод непосредственно к зажиму конденсатора.

Катушка возбуждения вибратора L используется также и для целей подавления радиопомех. Легко видеть, что совместно с конденсатором C_1 катушка L составляет дополнительное Г-образное звено фильтра.

ПОДАВЛЕНИЕ РАДИОПОМЕХ, СОЗДАВАЕМЫХ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЕМ АВТОМАШИН И МОТОЦИКЛОВ

Простейшая схема подавления радиопомех, создаваемых системой батарейного зажигания автомашин, приведена на фиг. 58. Источниками радиопомех в ней являются: искровые промежутки свечей, прерыватель, включенный в пер-



Фиг. 58. Схема подавления радиопомех, создаваемых системой зажигания автомашин.

R—подавительные сопротивления; C_1 и C_2—проходные конденсаторы; *Р*—распределитель; *КЗ*—катушка зажигания; *В*—выключатель; *С*—свеча; *Б*—батарея.

вичную цепь катушки зажигания, и распределитель, включенный во вторичную ее цепь. Все элементы фильтрации должны быть максимально приближены к источникам радиопомех.

В цепь каждой свечи включено омическое сопротивление (подавитель радиопомех). Величина этого сопротивления может составлять 5—15 тыс. *ом*; однако наиболее

распространены подавители радиопомех с сопротивлением 10 тыс. *ом*. Наилучшие результаты получаются, когда подавитель радиопомех подключен непосредственно к свече, так как в этом случае наибольшая часть напряжения помех, создаваемых в момент пробоя искрового промежутка свечи, падает на сопротивлении подавителя, а на проводе свечи остается лишь небольшая его часть. По аналогичным соображениям и подавитель радиопомех распределителя монтируется непосредственно на распределителе.

Конденсатор, шунтирующий контакты прерывателя, также расположен непосредственно на корпусе системы распределителя.

Этот конденсатор необходим для работы первичной цепи катушки зажигания и имеется на всех автомашинах с батарейным зажиганием, однако установка его должна быть сделана так, чтобы он действовал и как средство подавления радиопомех. С этой целью желательно обычный конденсатор заменить на проходной, что существенно повысит подавление радиопомех в диапазоне коротких волн. Это особенно важно при подавлении помех в системах зажигания, имеющих резонанс в области коротких волн из-за индуктивности провода, идущего к свече от катушки зажигания через распределитель и емкости высоковольтной обмотки катушки зажигания относительно массы машины.

Далее, на схеме показан конденсатор, шунтирующий среднюю точку обмоток катушки зажигания на корпус; при этом первичная обмотка катушки зажигания играет роль катушки индуктивности в цепи прерывателя, а вторичная обмотка — роль катушки индуктивности в цепи распределителя.

В применяемых у нас катушках зажигания первичная обмотка имеет индуктивность на высокой частоте (на $f = 0{,}15$ *мггц*) порядка 350 *мгн* и собственный резонанс на частоте 1,5 *мггц*, в то время как обмотка высокого напряжения во всем диапазоне радиочастот ведет себя как емкость и сопротивление ее падает с повышением частоты; величина этой емкости около 35 *мкмкф*.

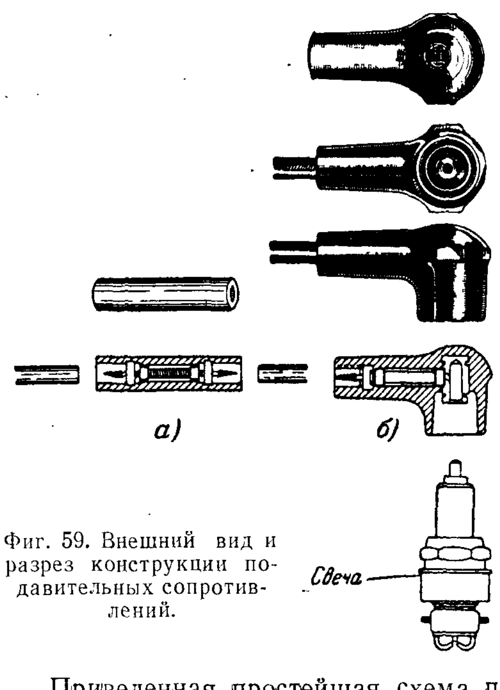
Таким образом, используя обмотки катушки зажигания в качестве катушек фильтра, мы получаем в первичной цепи П-образный, а во вторичной — Г-образный фильтры, которые при правильном монтаже конденсаторов дают значительное подавление радиопомех.

В тех случаях, когда схема включения катушки зажигания отлична от приведенной на фиг. 58, с целью получе-

ния лучшей фильтрации помех необходимо сделать переключение, осуществив включение катушки зажигания по схеме фиг. 58.

Кроме того, необходимо обратить серьезное внимание на место включения выключателя зажигания в первичную цепь.

У некоторых машин он включен в ту часть провода первичной цепи, где помехи имеют большую величину, например, между прерывателем и конденсатором прерывателя, что может создать значительные радиопомехи, так как провода, идущие к выключателю на щиток машины, часто имеют значительную длину и могут являться хорошими излучателями.



Фиг. 59. Внешний вид и разрез конструкции подавительных сопротивлений.

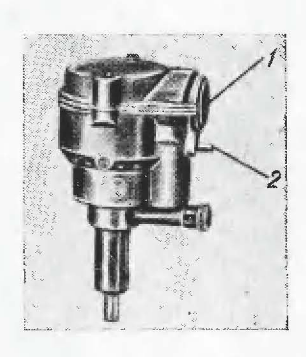
Местом включения выключателя зажигания должен быть участок провода первичной цепи между аккумулятором и конденсатором, присоединенным к средней точке катушки зажигания, где радиопомехи устранены.

Приведенная простейшая схема подавления помех, создаваемых системой зажигания автомашины, вполне приемлема для автомашин, не имеющих приемника, и дает удовлетворительный результат для автомашин с малочувствительным радиоприемником.

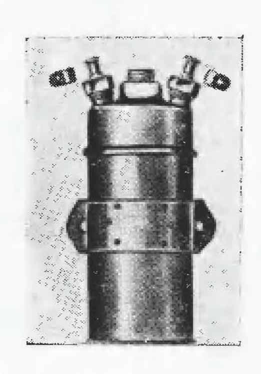
Внешний вид и разрез подавительных сопротивлений приведены на фиг. 59,*а* и *б*. На фиг. 59,*а* изображено подавительное сопротивление, включаемое в провод высокого напряжения распределителя; оно вставлено в пластмассовую трубку и включается в разрыв провода; провод ввинчивается в трубку с торцов.

На фиг. 59,*б* изображено подавительное сопротивление для свечей; оно вставлено в пластмассовый уголок, надеваемый на свечу. При этом провод, подходящий к свече, ввертывается в уголок с торца.

Для автомашин, на которых устанавливаются радиоприемники с КВ диапазоном, необходима полная экранировка системы зажигания. Экранировке должны быть подвергнуты распределитель, катушка зажигания, свечи и вся электропроводка. Кроме того, вместо конденсатора, присоединенного к средней точке катушки зажигания, в первичной цепи должен быть применен эффективный индуктивно-емкостный фильтр.



Фиг. 60. Внешний вид конструкции экранированного распределителя.

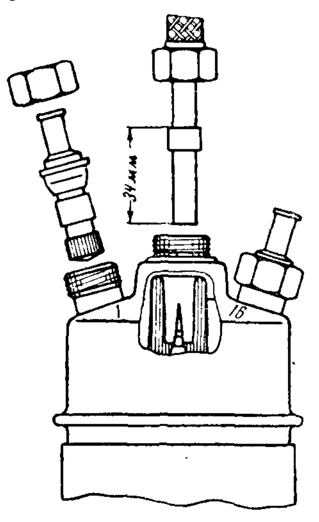


Фиг. 61. Внешний вид экранированной катушки зажигания.

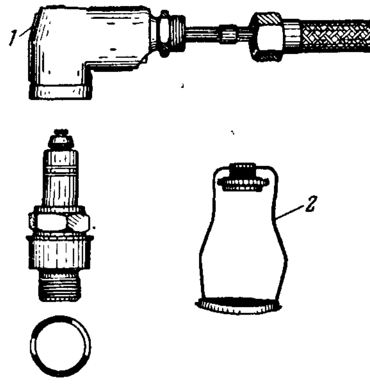
Одна из конструкций экранированного распределителя приведена на фиг. 60. Распределитель помещен в литой корпус, сверху снабженный литой крышкой, привертывающейся двумя болтами. Провода от свечей, помещаемые обычно в общий экранирующий шланг из оплетенной гофрированной цельнотянутой медной трубки, вводятся в отверстие *1*. Провод, идущий к катушке зажигания, помещенный в аналогичный шланг, но меньшего диаметра, вводится в отверстие *2*.

Экранированная катушка зажигания изображена на фиг. 61; она отличается от обычной лишь тем, что торец, на котором осуществлены выводы, сделан также экранированным, а сами выводы делаются через экранированные втулки с накидными гайками. Конструкцию экранированных выводов легко понять из фиг. 62.

Одна из конструкций экранировки свечи приведена на фиг. 63. Здесь применен экранированный угольник с вмонтированным в него подавительным сопротивлением. Угольник *1* надевается на свечу, а затем прижимается к ней посредством пружины *2*.

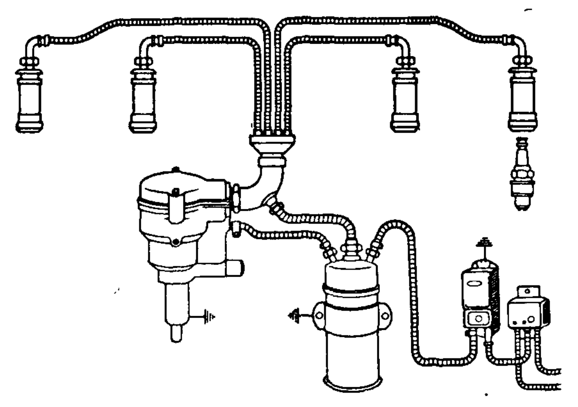


Фиг. 62. Конструкция экранированных выводов от катушки зажигания.



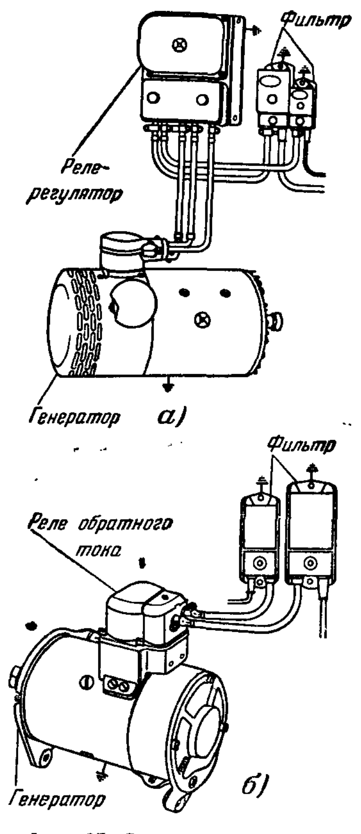
Фиг. 63. Способ экранировки свечи и включения подавительного сопротивления.

На фиг. 64 приведена одна из конструкций полностью экранированной и фильтрованной системы зажигания автомашины. Применение ее позволяет вести уверенный радиоприем на высокочувствительный радиоприемник, установленный непосредственно в автомашине.



Фиг. 64. Схема полностью экранированной и фильтрованной системы зажигания автомашин.

Во всех случаях подавления помех от системы зажигания автомашины необходимо обращать особое внимание на то, чтобы отдельные металлические части двигателя, шасси и кузова были электрически надежно соединены между собой. Это соединение отдельных металлических элементов должно быть осуществлено посредством коротких перемычек из широкого сплющенного медного чулка.



Фиг. 65. Система подавления радиопомех, создаваемых:

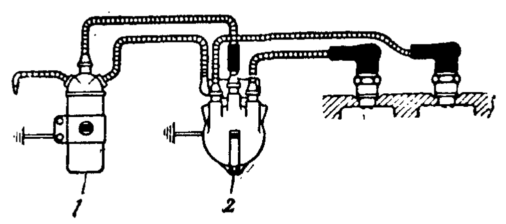
а — генератором, работающим совместно с реле-регулятором; *б*—генератором, работающим совместно с реле обратного тока.

Кроме системы зажигания, источниками радиопомех в автомашинах являются генератор, работающий либо совместно с реле обратного тока, либо с реле-регулятором. Как реле обратного тока, так и реле-регулятор сами являются источниками радиопомех.

При предъявлении высоких требований к подавлению радиопомех, например, когда радиоприемник устанавливается непосредственно на автомашине, применяется полное экранирование электроустройств и фильтрация отходящих от них проводов. На фиг. 65,*а* и *б* соответственно приведены система подавления радиопомех от генератора, работающего совместно с реле-регулятором, и система подавления радиопомех от генератора, снабженного реле обратного тока. Экранирование проводов в данном случае обычно выполняется посредством экранирующего панцырного чулка. Корпусы генератора реле-регулятора и фильтра в схеме *а* и генератора с реле обратного тока и фильтра в схеме *б* должны иметь непосредственный контакт с массой машины. В ряде систем, где отсутствует щитковая контрольная лампа, от реле обратного тока и от реле регулятора отхо-

дит лишь провод, идущий к батарее; тогда включается лишь один фильтр.

При невысоких требованиях к подавлению радиопомех в случаях, когда установка радиоприемника на автомашине не предусматривается, обычно ограничиваются применением лишь фильтрации посредством включения вместо фильтров проходных конденсаторов емкостью в 1 *мкф*. Кроме того, в схемах с реле-регулятором практикуется экранирование проводов от генератора к реле-регулятору в случае относительно большой их длины. Стартер благодаря кратковременности его работы в системе подавления радиопомех обычно не нуждается.



Фиг. 66. Схема подавления радиопомех, создаваемых системой зажигания мотоциклов.

Принцип подавления радиопомех, создаваемых системой зажигания мотоциклов, аналогичен описанному для автомашин. Эти системы зажигания бывают двух видов: батарейные и магнетные. В Советском Союзе преимущественно применяется батарейная система зажигания (фиг. 66). Здесь мы также видим катушку зажигания *1*, распределитель *2*, представляющий также единую конструкцию с прерывателем, и свечи.

В связи с тем что на мотоциклах обычно не устанавливается радиоприемник, для них применяется простейшая схема подавления радиопомех, обеспечивающая отсутствие радиопомех на радиоприемниках, находящихся на проходящих автомашинах или в домах, стоящих у дороги. В соответствии с этой схемой для подавления радиопомех используются лишь подавительные сопротивления, включаемые в провод высокого напряжения распределителя и в провода свечей. Для этой цели применяются такие же подавительные сопротивления, как и для автомашин, смонтированные в пластмассовых держателях.

При необходимости установки радиоприемника на мотоцикле необходимо применить систему экранирования и фильтрации, аналогичную описанной для автомашин.

ПОДАВЛЕНИЕ РАДИОПОМЕХ, СОЗДАВАЕМЫХ ТРАМВАЕМ

Радиопомехи, создаваемые трамваем, по своей интенсивности являются наиболее сильными. В больших городах с сильно развитой трамвайной сетью они не прекращаются круглые сутки. Трамвайные радиопомехи хорошо распространяются по питающему проводу.

Помехи, создаваемые всего лишь одним трамвайным вагоном, хорошо принимаются на расстояниях 5—6 *км* всеми приемными устройствами, расположенными вблизи питающего провода. В направлении, перпендикулярном к питающему проводу, дальность действия этих помех значительно меньше и составляет примерно 150—200 *м*. Трамвайные помехи наиболее интенсивны на длинных волнах радиовещательного диапазона и уменьшаются с укорочением длины волны. Они появляются вследствие неустойчивого контакта токоприемника с питающим проводом, при искрении коллектора двигателя, при переключениях контроллера, при подсыпании песка под колеса и т. д.

Подавление радиопомех, создаваемых трамваем, сводится к подавлению радиопомех от электроустройств вагона и к предотвращению их распространения по питающему проводу.

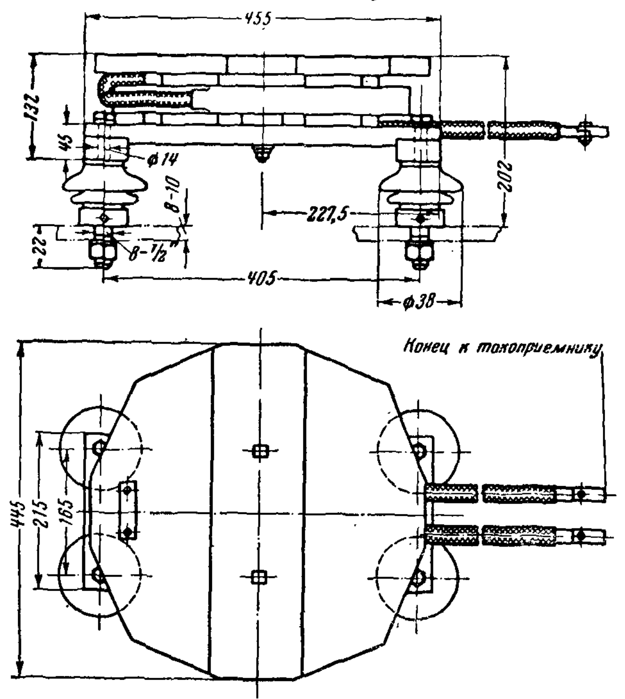
Одним из мероприятий, уменьшающих радиопомехи, является улучшение контакта токоприемника с питающим проводом. Это достигается путем правильного подбора давления токоприемника на питающий провод, применением вставок с широкой поверхностью контакта, а также применением токоприемника из материала, обеспечивающего наименьшие помехи радиоприему. Известно, что бронза создает наибольшие помехи; затем следует красная медь, алюминий, латунь, свинцовый блеск и сульфид висмута.

Наименьшие же помехи радиоприему получаются при угольной вставке токоприемника. Так, например, если принять помеху, создаваемую стальным контактом, за единицу, то для бронзы получается 2,4, а для угля не более 0,24. Небольшой уровень помех, создаваемый угольной вставкой, объясняется тем, что уголь мягче, чем медь, и полирует поверхность питающего провода, в то время как любая металлическая вставка его обдирает и вызывает образование заусенцев, сильно увеличивающих радиопомехи. Применение угольных вставок имеет преимущество также с точки зрения уменьшения износа питающего провода.

Однако использование угольных вставок возможно лишь при установке их на всем парке трамвайных вагонов, иначе

из-за наличия заусенцев на питающем проводе, создаваемых вставками из других материалов, угольные вставки будут сильно изнашиваться. В настоящее время у нас применяются алюминиевые вставки.

Вторым весьма эффективным мероприятием является увеличение внутреннего высокочастотного сопротивления трамвая, как источника радиопомех, посредством включения последовательно в цепь его токоприемника катушки индук-

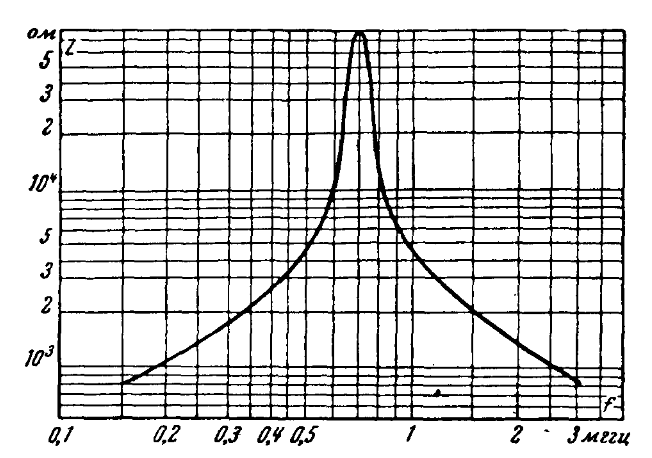


Фиг. 67. Защитная катушка типа ИКЗБ, применяющаяся для подавления радиопомех, создаваемых трамваем.

тивности. В настоящее время для этой цели у нас используются выпускаемые промышленностью катушки типа ИКЗБ (фиг. 67), обладающие индуктивностью 800 *мкгн*, собственной емкостью 70 *мкмкф*, активным сопротивлением 0,0193 *ома* и рассчитанные на ток 100 *а*. Катушки представляют собой спираль, имеющую 50 витков медной ленты 32 × 1,25 *мм*.

Характеристика высокочастотного сопротивления катушки приведена на фиг. 68. Отсюда видно, что наименьшее

сопротивление катушки в радиовещательном диапазоне частот 0,15 — 1,5 *мггц* приходится на частоту 0,15 *мггц* (2 000 *м*), т. е. именно там, где радиопомехи, создаваемые трамваем, максимальны. Максимальное же сопротивление соответствует частоте 700 *кгц* — это обеспечит наибольшее подавление помех в диапазоне средних волн.



Фиг. 68. Характеристика полного сопротивления катушки типа ИКЗБ в зависимости от частоты.

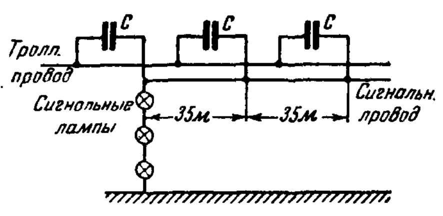
Практика подавления радиопомех, создаваемых трамваем, показывает, что помимо включения катушки в цепь токоприемника необходимо отдельно устранять помехи, создаваемые тяговыми и компрессорными электродвигателями, а также уменьшить высокочастотное сопротивление линии относительно земли, служащее нагрузкой трамвая, как источника радиопомех по высокой частоте.

Подавление помех, создаваемых тяговыми и компрессорными электродвигателями в действующем парке трамвайных вагонов, можно рекомендовать производить путем блокировки на корпус конденсаторами емкостью 0,5—1 *мкф* щеток, а еще лучше — всех проводов, отходящих от каждого электродвигателя.

Одним из существенных мероприятий в деле подавления трамвайных радиопомех является использование токоприемника с пантографом, обеспечивающим благодаря равномерному давлению его на провод постоянный контакт и, следовательно, резкое уменьшение радиопомех.

С целью уменьшения полного высокочастотного сопротивления трамвайной линии относительно земли, а также

для уменьшения распространения радиопомех вдоль нее применяется емкостная блокировка линии на землю (на рельс). Там, где подвеска провода осуществлена на столбах, необходимо устанавливать блокировочный конденсатор на каждом столбе; в случае стальных столбов в качестве провода заземления следует использовать тело столба при обязательном и надежном его заземлении. Там же, где подвеска провода осуществляется посредством растяжек на стены зданий, можно рекомендовать установку двух-трех конденсаторов на квартал. С целью укорочения соединительного проводника от конденсатора к рельсу или земле, а также и по соображениям архитектурным, часто блокировочный провод можно не тянуть до стены здания, а тянуть до ближайшего фонарного столба, использовав его корпус, если он металлический, в качестве заземляющего провода, а сам столб заземлить у земли, или еще лучше — соединить его с рельсом посредством провода, проведенного под землей. Для блокировки трамвайного питающего провода используются конденсаторы емкостью от 0,05 до 1 *мкф* в зависимости от индуктивности, а следовательно, от длины соединительного проводника. Необходимо, чтобы резонанс в цепи блокировки между индуктивностью блокировочного проводника и емкостью лежал на частоте несколько более низкой, чем частота 0,15 *мггц*. Это создаст на длинных волнах максимум подавления помех за счет действия блокировки линии.



Фиг. 69. Схема подавления радиопомех, создаваемых сигналами „Стоп" и „Берегись трамвая".

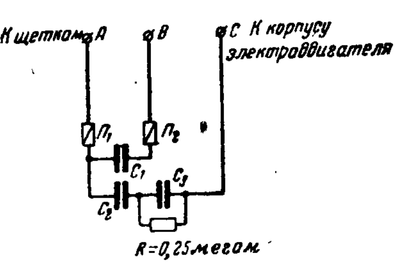
По требованию техники безопасности широко применяются предупредительные сигналы «Стоп» и «Берегись трамвая». Они устанавливаются на перекрестках улиц. Их действие основано на принципе замыкания вставкой токоприемника основного питающего и подвешенного рядом сигнального проводов. Сигнальный провод соединяется с группой сигнальных ламп, которые, кроме того, соединяются с рельсом. Благодаря переменному контакту между вставкой токоприемника трамвая и питающим и сигнальным проводами лампы сигнала сильно мигают. Это создает весьма сильные радиопомехи, в несколько раз превышающие обычные трамвайные.

Подавление радиопомех от системы сигнализации производится конденсаторами, подключаемыми к основному питающему и сигнальному проводам по схеме фиг. 69. Они устанавливаются на каждом столбе или подвеске, т. е. примерно через 35 *м*. Емкость конденсаторов берется порядка 0,3—0,5 *мкф* при общей длине соединительных проводников порядка 2 *м*.

Применение всех указанных средств подавления радиопомех на трамвае и линии дает возможность резко снизить радиопомехи и обеспечить высококачественный радиоприем в городах.

ПОДАВЛЕНИЕ РАДИОПОМЕХ, СОЗДАВАЕМЫХ ТРОЛЛЕЙБУСАМИ

Основными источниками радиопомех у троллейбуса являются: контакторы силовой цепи, реле управления, коллекторы тягового и компрессорного электродвигателей, переменный контакт токоприемников с питающими проводами. Уровень помех, создаваемых троллейбусом, не снабженным системой подавления радиопомех, имеет максимальную величину в диапазоне средних волн.



Фиг. 70. Схема подавления радиопомех, создаваемых тяговым электродвигателем троллейбуса.

Для подавления радиопомех, создаваемых троллейбусом, применяются те же средства, что и для подавления трамвайных радиопомех.

Все троллейбусы снабжены двумя реактивными катушками типа ИКЗБ, каждая из которых включается последовательно в цепь соответствующего токоприемника. Катушки устанавливаются на крыше троллейбуса у основания токоприемников. Применение катушек значительно снижает уровень радиопомех, создаваемых троллейбусом, особенно на средних волнах, где они (фиг. 68) имеют наибольшее сопротивление.

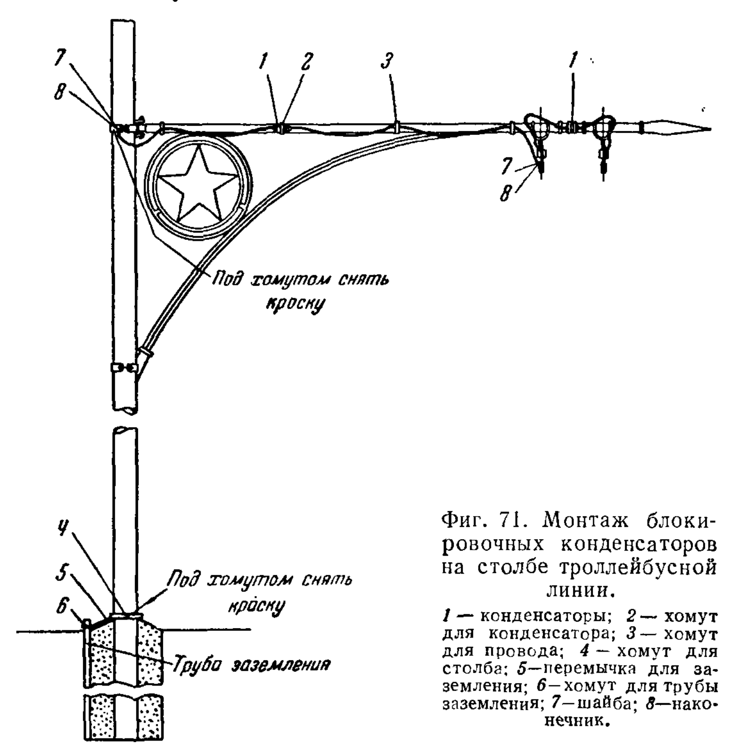
Кроме катушек, в ряде городов троллейбусы снабжены башмачковыми скользящими токоприемниками с угольным вкладышем вместо роликовых вращающихся токоприемников; это также дало добавочное подавление радиопомех.

Подавление радиопомех, создаваемых тяговыми электродвигателями, должно осуществляться по схеме фиг. 70. Вели-

чины емкостей рекомендуются следующие: C_1=0,3—0,5 *мкф*; C_2 и C_3 — по 0,1 *мкф*.

Два последовательно включенных конденсатора C_2 и C_3 применены с целью увеличения электрической прочности.

Кроме того, предусмотрен разряд конденсатора C_2 на сопротивление $R = 0{,}25$ *мгом*. Предохранители $П_1$ и $П_2$ рассчитаны на силу тока 5 *а*.



Фиг. 71. Монтаж блокировочных конденсаторов на столбе троллейбусной линии.

1 — конденсаторы; *2* — хомут для конденсатора; *3* — хомут для провода; *4* — хомут для столба; *5*—перемычка для заземления; *6*—хомут для трубы заземления; *7*—шайба; *8*—наконечник.

Подавление помех в питающих проводах троллейбуса производится путем блокировки их конденсаторами между собой и блокировки на землю по аналогии с блокировкой трамвайного питающего провода.

Для блокировки проводов между собой применяются конденсаторы емкостью 0,3—0,5 *мкф* при общей длине соединительных проводников 1,5—2 *м*. Для блокировки троллейных проводов на землю применяются конденсаторы емкостью от 0,05 до 1 *мкф* в зависимости от индуктивности соединительного проводника.

Конденсаторы, шунтирующие провода на землю, необходимо присоединять к минусовому проводу, так как он имеет более низкое напряжение относительно земли. Блокировка обоими конденсаторами производится на каждом столбе, т. е. примерно через 35 *м*. В случае подвески проводов на растяжках делается 2—3 точки блокировки проводов на квартал.

В качестве заземления может быть использована забитая в землю двухметровая труба. Внешний вид монтажа блокировочных конденсаторов на столбах приведен на фиг. 71.

Применение блокировки в дополнение ко всем вышеуказанным средствам дает существенное снижение как величины радиопомех, так и дальности их распространения вдоль линии. Это объясняется тем, что троллейбус, не будучи соединен непосредственно с землей, обладает, однако, относительно нее емкостью порядка 500 *мкмкф*. Эта емкость определяет его несимметричное высокочастотное внутреннее сопротивление, которое получается относительно высоким. В связи с этим катушки индуктивности дают здесь меньший эффект подавления, чем на трамвае, блокировка же благодаря высокому внутреннему сопротивлению существенно увеличивает общее подавление радиопомех.

ПОДАВЛЕНИЕ РАДИОПОМЕХ ОТ ДРУГИХ ИСТОЧНИКОВ

Рассмотренные способы подавления радиопомех, создаваемых различными электроустройствами, являются типичными и могут быть использованы при решении задач подавления помех от других, не рассмотренных нами электроустройств, — источников радиопомех. Несмотря на это, мы считаем необходимым дать рекомендации в отношении принципиального направления, которого целесообразно придерживаться при решении задач подавления радиопомех от ряда распространенных в городах и зачастую весьма мощных источников радиопомех.

Общее указание следует сделать о высокочастотной медицинской аппаратуре (диатермия, Д'Арсенваль) и о рентгеновской аппаратуре. Высокая степень подавления радиопомех здесь может быть достигнута лишь путем помещения аппаратуры вместе с пациентом и медицинским персоналом в экранированную комнату и путем фильтрации всех отходящих от нее проводов. Частичное подавление помех можно осуществить при неполном экранировании, важнейшим при этом является устройство металлического пола под аппара-

турой с установкой на нем фильтров и экранирование отходящих от них проводов.

Высокочастотные промышленные установки должны полностью экранироваться, а отходящие от них провода — фильтроваться.

Подавление радиопомех от электросварочных аппаратов, работающих на переменном токе с осциллятором, должно производиться посредством экранирования сварочного трансформатора и фильтрации отходящих от него питающих проводов, экранирования сварочного дросселя, экранирования сварочного шланга и всех соединительных проводников. В этом случае получается высокое подавление радиопомех в момент сварки и не полное, но значительное их снижение в перерывах сварки, но при работающем осцилляторе.

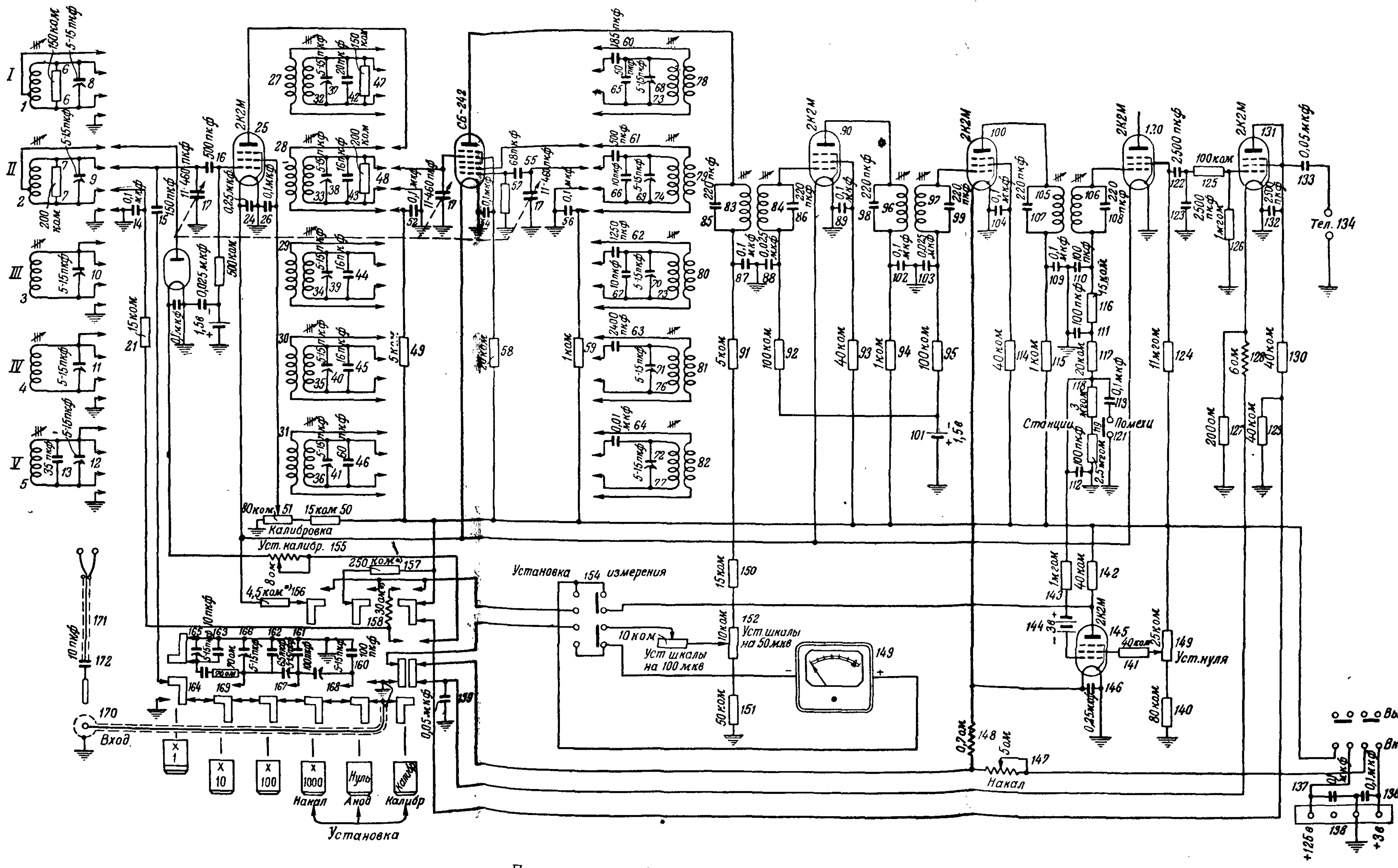
При подавлении радиопомех от электросварочных агрегатов постоянного тока необходимо, чтобы конденсатор, шунтирующий машину, имел достаточно большую емкость и не создавал резонанса емкости этого конденсатора с индуктивностью сварочного шланга.

Подавление радиопомех в лифтах и других электрических подъемниках должно осуществляться путем: а) тщательного экранирования либо шахты, либо всего электрооборудования и электропроводки; б) создания общей массы экранов с корпусом электродвигателя и фильтрации питающих его проводов.

Подавление радиопомех, создаваемых линиями высокого напряжения за счет истечения электричества, может осуществляться путем замены изоляторов на более высоковольтные. Удаление приемного устройства от линии на 200—300 *м* также позволяет избавиться от радиопомех.

Подавление радиопомех от газоразрядных трубок световой рекламы производится путем создания ящика—экрана, в который помещаются трубки. Этот экран должен близко подходить к трубкам с тыльной их стороны и с боковых сторон. Необходима также фильтрация питающих проводов, подходящих к силовому трансформатору, питающему рекламу.





Принципиальная схема измерителя помех типа ИП-12М.

Цена 1 р. 90 к.

ГОСЭНЕРГОИЗДАТ

МАССОВАЯ РАДИОБИБЛИОТЕКА

под общей редакцией академика А. И. БЕРГА

ВЫШЛИ ИЗ ПЕЧАТИ И ПОСТУПИЛИ В ПРОДАЖУ

БАТРАКОВ А. Д. и КИН С., Элементарная радиотехника, ч. II, стр. 240, ц. 5 р. 70 к.

ГАНЗБУРГ М. Д., Трехламповый супергетеродин, стр. 32, ц. 80 к.

ДОЛЬНИК А. Г., Выпрямители с умножением напряжения, стр. 32, ц. 80 к.

ЕВДОКИМОВ П. И., Методы и системы многоканальной радиосвязи, стр. 64, ц. 1 р. 50 к.

ЕНЮТИН В. В., Ответы на вопросы по детекторным приемникам, стр. 24, ц. 60 к.

КОМАРОВ А. В. и ЛЕВИТИН Е. А., Радиовещательные приемники „Москвич" и „Кама", стр. 12, ц. 90 к.

ЛЕВИТИН Е. А., Новое в изготовлении радиоаппаратуры, стр. 72, ц. 1 р. 70 к.

ТАРАСОВ Ф. И., Простые батарейные радиоприемники, стр. 32, ц. 80 к.

ФИНКЕЛЬШТЕЙН М. И. и ШУСТЕРОВИЧ А. Н., Радионавигация, стр. 80, ц. 1 р. 80 к.

ШУМИХИН Ю. А., Введение в импульсную технику, стр. 112, ц. 2 р. 70 к.

ЭФРУССИ М. М., Газовые стабилизаторы напряжения, стр. 32, ц. 80 к.

ПРОДАЖА ВО ВСЕХ КНИЖНЫХ МАГАЗИНАХ И КИОСКАХ

ИЗДАТЕЛЬСТВО ЗАКАЗОВ НЕ ВЫПОЛНЯЕТ